



A Aplicação de Tecnologias Digitais e a Fundição por Modelo de Cera Perdido na Realização da Escultura

Manuel da Silva Vaz

Mestrado em Escultura – Dissertação de Trabalho de Projecto

Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto

Trabalho efectuado sob a orientação do Professor Doutor Carlos Alberto Silva

Ribeiro e do co-orientador Engenheiro Paulo Miguel Cravo Aguiar Pinto

Setembro 2009

Agradecimentos

Aos meus orientadores Professor Doutor Carlos Alberto Silva Ribeiro e Engenheiro Paulo Miguel Cravo Aguiar Pinto, pelos ensinamentos transmitidos;

À Sra. Directora do Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição (CINFU), Engenheira Helena Oliveira, pelo apoio proporcionado no desenvolvimento do projecto, através de recursos humanos e técnicos;

Ao Sr. Director Geral da Zollern, Engenheiro Virgílio Oliveira e ao Sr. Engenheiro António Novais, pela colaboração demonstrada;

Aos meus amigos Reinaldo Pinto, Rita Pinto, e Paulino Sousa pela amável colaboração e a todos os outros que no CINFU me facultaram a sua preciosa ajuda;

À minha irmã Conceição Vaz e meu cunhado José Veiga Torres, pelos conselhos dados;

Aos meus amigos Fernando de Sousa e Ricardo Santos, pelo apoio;

Um especial agradecimento ao meu cunhado Paulo Aresta, pelo seu persistente incentivo.

à minha filha Carolina,
à Paula,
à minha mãe
e à memória de meu pai, António Maria Vaz

Resumo

A realidade que hoje vivemos transporta-nos, incondicionalmente, para o mundo das tecnologias, da informação e da comunicação. As práticas ancestrais de fundição por modelo de cera perdido continuam o seu percurso evolutivo com novos materiais, novos equipamentos e novas tecnologias, mas o processo permanece praticamente invariável. A escultura no bronze tem marcado ao longo dos tempos uma forte presença graças à fundição dos metais. Henry Moore, acerca da estátua equestre, em bronze, de Marco Aurélio, em Roma, que o fascinava, recordava os dois mil anos desta peça e o seu bom estado de conservação: “O bronze é realmente mais resistente ao tempo do que a maior parte das pedras”.*

Este trabalho partiu da modelação escultórica convencional seguindo-se-lhe a utilização das tecnologias digitais no âmbito do CAD 3D, Digitalização Tridimensional e Prototipagem Rápida, com o objectivo de estudar as suas potencialidades no campo da Escultura. Os modelos construídos por prototipagem foram convertidos em modelos de cera e passados a metal pelo processo de Fundição por Modelo de Cera Perdido.

* Henry Moore, cit. por Franco Russoli e David Mitchinson, *HENRY MOORE- ESCULTURA, Com comentários do artista*, F. Calouste Gulbenkian, 1981, p.166.

Abstract

The reality which we live in today brings us, unconditionally, to the world of technology, information and communication. The ancient practices of casting through lost wax model process continue their evolutionary path to the new materials, new equipment and new technologies, but the process remains virtually unchanged. Sculpture in bronze has marked through the time a strong presence thanks to the casting of metals. Henry Moore, about the equestrian statue in bronze of Marcus Aurelius in Rome, which fascinated him, recalled the two thousand years of this masterpiece and its good state of preservation: “The bronze is really more resistant to the weather than most stones”.*

This work had its basis on the sculptural conventional modeling followed by the use of digital technologies in 3D CAD, Three-Dimensional Scanning and Rapid Prototyping, in order to study their potential in the area of sculpture. The models built through prototyping were converted into wax models and then transformed into metal by the process of Model Casting Lost Wax.

* Henry Moore, cit. by Franco Russoli e David Mitchinson, *HENRY MOORE- ESCULTURA, Com comentários do artista*, F. Calouste Gulbenkian, 1981, p.166.

Índice

INTRODUÇÃO	7
I. REFERÊNCIAS HISTÓRICAS.....	8
I.1. A utilização dos metais	8
I.2. A fundição por modelo de cera perdido	9
I.3. Alguns tratados referentes ao processo de fundição e a sua importância para o conhecimento/ contextualização do mesmo	11
I.4. A <i>Descrição Analytica</i> da execução da estátua equestre de D. José I e a sua fundição - Uma referência a nível nacional.....	18
II. O PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR MODELO DE CERA PERDIDO NA ACTUALIDADE	22
II.1. Método do bloco cerâmico.....	22
II.2. Método da carapaça cerâmica.....	23
II.3. A importância do processo para a realização da escultura	25
II.4. As novas tecnologias	25
II.4.1.O conceito	26
II.4.2. A aplicação em escultura	27
II.4.3. O potencial	30
III. O TRABALHO PRÁTICO (As tecnologias digitais e a fundição por modelo de cera perdido para a realização da escultura).....	33
III.1. A digitalização 3D	33
III.2. <i>Software</i> de modelação de sólidos e superfícies.....	35
III.3. A prototipagem rápida	36
III.4. A fundição e a peça escultórica	41
IV. AS TECNOLOGIAS DIGITAIS E O APOIO À CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO OBJECTO ARTÍSTICO.....	45
IV.1. O objecto técnico.....	45
IV.2. O objecto plástico	46
IV.3. A discussão comparativa dos resultados	50
CONCLUSÃO	52
BIBLIOGRAFIA	53
APÊNDICE.....	57
ÍNDICE DE FIGURAS	58

Introdução

Atendendo à evolução tecnológica, desenvolvida nestes últimos anos, em meio digital, e sua aplicação na concepção de formas tridimensionais, pretende-se, com esta investigação, explorar as potencialidades dos recursos emergentes, que já produzem bons resultados em diferentes áreas científicas e tecnológicas. Assim, interessa considerar algumas linhas orientadoras com importância para o trabalho: O Processo de Fundição por Modelo de Cera Perdido e a sua Evolução; A Importância do Processo de Cera Perdida para a realização da Escultura; O Recurso aos Novos Materiais, Novos Equipamentos, Novas Tecnologias Digitais, para Apoio à Concepção/ Desenvolvimento do Objecto Artístico; O Objecto Técnico e o Objecto Plástico.

O trabalho de projecto foi desenvolvido numa estreita relação entre as duas vertentes teórica e prática, com o objectivo de estruturar uma pesquisa que pretendeu recolher conhecimentos e práticas da fusão e do processamento de ligas metálicas e sua ligação à Escultura. Procurará mostrar a importância do Processo de Fundição por Modelo de Cera Perdido (para a concretização de uma ideia) que, ao longo dos tempos, foi deixando marcas personalizadas no bronze.

Será avaliado o potencial de aplicação de duas técnicas: *Computer Aided Design* (CAD), *Three Dimensional* (3D), de concepção digital e pré-processamento e técnicas de *Rapid Prototyping* (RP) aplicadas à Escultura.

Interessa, ainda, mostrar como esta investigação foi concretizada, partindo do processo convencional de realização da Escultura, onde quase todos os órgãos dos sentidos são estimulados, para o ambiente virtual onde a realidade é outra e a possibilidade de formulação é distinta e vasta. Regressar ao mundo dos sentidos e converter a ideia numa forma plástica, que terá o metal como suporte da comunicação.

I. Referências Históricas

I.1. A utilização dos metais

Toda e qualquer civilização põe em causa a sua evolução e compromete o seu futuro se permanece vinculada exclusivamente à utilização dos materiais tradicionais: madeira, pedra e cerâmica.

Remonta, provavelmente, a 6000 anos a.C., no Médio Oriente, a utilização dos metais, para uso doméstico, guerra, caça, etc.. A grande revolução dos metais abriu o caminho para o imenso período cultural que nos conduziu à realidade tecnológica que hoje vivemos.

O período intermédio entre o Neolítico e a Idade do Bronze, designado por Eneolítico ou Calcolítico, trouxe ao nosso conhecimento um novo material, o cobre.

Terá sido fruto do acaso a descoberta do metal, quando foram aquecidos minérios que estariam associados às pedras de um forno. É provável que o minério de cobre ao ser reduzido pelo fogo resultasse, no meio das cinzas, numa massa impura, com características plásticas, capaz de ser moldada. Também se concluiu que, havendo uma cavidade sob o fogo, esta permitia a acumulação do metal fundido e, se o fogo fosse feito num fosso, o rendimento do forno seria bem maior. As espessas paredes de pedra e barro impediam a fuga do calor. Os minérios eram introduzidos naquela câmara, pela parte superior, juntamente com a madeira ou carvão vegetal. Nascia o forno de fusão, mais tarde melhorado no seu desempenho com a colocação de entradas de ar forçado, obtido por foles de pele, que possibilitaram o aumento do seu poder calorífico, ao ponto de atingir temperaturas na ordem dos 1200° a 1300° C.

A Civilização Cretense ou Minóica foi, de certo modo, o grande centro cultural e o mais importante do Eneolítico.

Inicialmente, o cobre nativo era martelado para produção de pequenos utensílios. A Península Ibérica, pela sua riqueza cuprífera, bem cedo foi alvo da procura por parte de povos do Egeu que contribuíram para o desenvolvimento de uma cultura megalítica entre 2500 a 1600 a.C., no sul dos actuais territórios de Espanha e Portugal. Os utensílios de pedra coexistiam ao lado dos novos de cobre. Paralelamente às culturas eneolíticas que usavam de forma profícua as suas riquezas cupríferas, outras culturas,

pela ausência de metal na sua região, continuavam presas a uma economia neolítica de grande dependência, nomeadamente em relação a produtos da metalurgia do cobre.

Terá sido também descoberto, por casualidade, o bronze, liga de cobre e estanho, que teve o seu desenvolvimento no período compreendido entre 3000 e 1500 anos a.C. Esta mistura de metais deu um novo impulso às civilizações, uma vez que o novo produto apresentava maior dureza, maior resistência e maior duração que o cobre, com a vantagem de ter um ponto de fusão mais baixo. O estanho, por ser demasiado macio, tem características mecânicas desfavoráveis, mas associado ao cobre cria uma nova estrutura atômica muito mais estável que o metal puro. O seu fabrico por meio de forja e molde contribuiu para a produção de objectos diversificados, incluindo armas.

I.2. A fundição por modelo de cera perdido

O processo de martelagem a frio foi o primeiro passo usado para agir sobre os metais. A grande ruptura ocorreu quando o processo de fusão assumiu protagonismo. Os primeiros moldes para a realização de utensílios fundidos foram executados em duas partes, em pedra macia, com o negativo da peça (Fig.1).

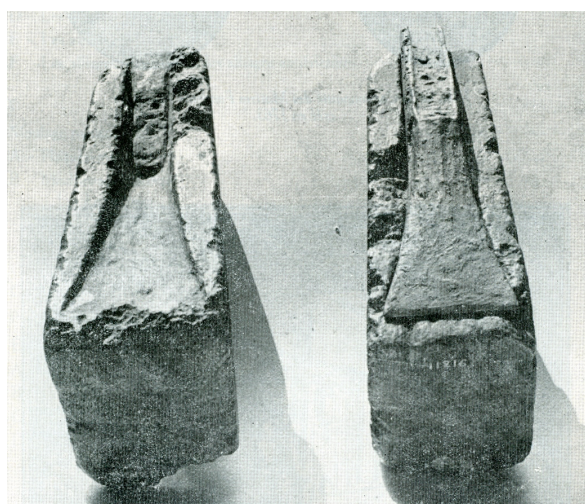


Fig.1 - Moldes em pedra macia e machado em bronze, Museu de Saint-Germain-en-Laye.

Dois métodos de moldação foram usados no período da Idade do Bronze para o vazamento do metal:

1º. Utilização de um molde formado, às vezes, por vários elementos, com terra refractária, húmida, apertada contra o modelo, destacada deste e seca.¹ Vemos neste procedimento o actual método de “ fundição por areia”;

2º. Conforme Jacques Henri Viez, citado por H. Coste,²:

Pour une pièce plus compliquée [...] le modèle était confectionné avec de la cire et comportait parfois un noyau d'argile. Ce fragile modèle était enrobé de couches sucessives d'argile délayée qui en prenaient l'empreinte. La fusion de la cire , au cours du séchage du moule par le feu, laissant un creux dans lequel on versait le métal liquide.

O texto refere a utilização de um modelo de cera que se irá perder, depois de efectuada a cozedura da argila que o envolve, para a consolidação da moldação. O espaço ocupado pela cera, após a sua fusão, passa a ser a cavidade destinada ao fundido. Este método³ permite copiar com fidelidade o modelo de cera e reproduzi-lo em metal. Adequa-se a situações de grande complexidade do modelo.

A cera de abelha é o material termoplástico mais antigo que se conhece com propriedades que possibilitam a sua utilização no estado líquido, semi-líquido e sólido. A sua utilização ao longo dos tempos acompanhou de perto a evolução que se fez sentir no âmbito da actividade artesanal, artística e no desenvolvimento da indústria⁴. Para além da cera de abelha, de origem animal, outras ceras, de origem vegetal, a carnaúba e ceras sintéticas, as microcristalinas,⁵ derivadas do petróleo, combinadas com parafina e resinas são, nos dias de hoje, mais utilizadas por apresentarem um custo menos elevado, comparativamente com a cera de abelha, com melhor desempenho em termos de registo de pormenores e estabilidade dimensional. Além disso, estas ceras evitam o aparecimento de cinzas/resíduos (prejudiciais para a sanidade do fundido) aquando da sua fusão e eliminação do interior da moldação, facto que ocorre com frequência

¹ H. Coste, *Cours Élémentaire de Fonderie*, Tome I, Paris, Syndicat Général des Fondeurs de France, 1976, p.21.

² *ibidem*

³ “The Investment Casting Process, also known as the lost wax process, [...] It is possible that the first investment casting was produced in Thailand around 4500 BC. Archeological evidence exists to show that the process was used in Mesopotamia during the period 4000 to 2000 BC; in China, India, Greece and Northern Europe during the period 2000 BC to Anno Domini; in Italy, Central and South America, West Africa and, Western Europe in the period from Anno Domini to 1000 AD. Whilst noted for its use in the production of statuary and jewellery, the process was also used in the production of weaponry, tools and utensils”. Cf. A.J.Clegg, *Precision Casting Processes*, Pergamon Press, 1991, p.145.

⁴ Ron Williams, “ Waxes for Investment Casting” ,in *Investment Casting Waxes*, American Foundrymen's Society- Cast Metals Institute, Cast Metals Technology series, USA,1988.

⁵ Philippe Clérin, *LA SCULPTURE, toutes les techniques*, 3.ªed. Turim, Dessain & Tolra, 1993, p.56.

quando se utiliza a cera de abelha. Mesmo assim, há fundidores, no sector da fundição artística, que não prescindem das receitas tradicionais com a respectiva cera de abelha.

I.3. Alguns tratados referentes ao processo de fundição e a sua importância para o conhecimento/contextualização do mesmo

Os 37 livros da *História Naturalis* constituem o único documento que chegou até nós, de um conjunto mais vasto, das obras escritas por Plínio Segundo, chamado o Velho, (Como 23/24-Estábias,79). Historiador romano, militar, cientista, elaborou um conjunto de textos provenientes de recolhas efectuadas a partir de leituras e observações expostas nos diferentes volumes que tratam de uma vasta fonte de conhecimento que vai desde a abordagem da física, matemática, geografia, biologia, agricultura, fisiologia humana, antropologia, farmacologia, até à mineralogia, escultura e pintura. Esta enciclopédia e os escritos do grego Teofrasto (372-287 a. C.) representam os documentos mais antigos que abordam os minerais. No volume XXXIII, Plínio trata dos metais preciosos, prata e ouro. No volume XXXIV, o cobre e o bronze são tema de estudo, com referências ao cobre e suas ligas, sua proveniência, seu aspecto em termos de cor, comportamento das ligas em segunda fusão, aplicabilidade das ligas na estatuária, descrição da vasta produção escultórica e seus autores.

Do período medieval, o capítulo XXX do códice de Teófilo, terceiro livro, faz a seguinte descrição:

Se quiseres fixar as asas sobre o cálice, logo que o tiveres batido e raspado, antes de fazer nele outro trabalho, pega nalguma cera e forma, a partir dela, as asas onde esculpes os dragões, os animais ou as flores que quiseres. No cimo de cada asa coloca um pedaço de cera arredondado, semelhante a uma fina chama com o comprimento do dedo mínimo, mas ligeiramente mais espessa no cimo, a que se chama gito.⁶ [...] Depois pega em argila bem amassada e cobre cuidadosamente ambas as asas em separado, de modo a cobrir todas as aberturas da escultura. Quando isso ficar seco, volta a cobri-las com argila, excepto no cimo do gito e torna a repetir isso uma terceira vez. Em seguida coloca esses moldes sobre carvões, e quando estiverem quentes, funde-lhes cera. Depois de lhes teres vertido a cera coloca-as bem no lume, virando as aberturas para que a cera saia pela parte inferior [...] Derrete, imediatamente, a prata e acrescenta-lhe um pouco de ouro hispânico; [...] Quando arrefecerem, tira a argila e ajusta as asas com uma lima e um cinzel nas suas respectivas posições.⁷

⁶ Consiste num elemento, que faz parte dum sistema de canais, através do qual o metal é conduzido para a cavidade da moldação.

⁷ Teófilo, *As Diversas Artes*, Lisboa, edição preparada por V. Ferreira Jorge e traduzida por M.F. Meneses Cordeiro, Separata do Boletim Cultural da Assembleia Distrital de Lisboa III série – N.º 89- 1º Tomo-1983, p.82.

Há nesta exposição uma indicação clara do processo de fundição por modelo de cera perdido, com utilização do método directo, que consiste em modelar a peça logo na cera e obter um único exemplar, daquele modelo, em metal. No conjunto dos vários capítulos, é apreciável a descrição da construção do forno (capítulos III e LXIV), dos foles (capítulo IV), dos utensílios (capítulos V a XVII), da refinação e fusão dos metais (capítulos XXIII a XXXI), do cobre (capítulo LXIII), do bronze (capítulo LXVI), da fusão dos sinos (capítulo LXXXV), etc..

O tratado, *As Diversas Artes*, do monge beneditino Teófilo, de nome de religião Rogério (*Theophilus Presbiter qui et Rugerus*),⁸ datado da primeira metade do século XII, pelas investigações mais recentes,⁹ é um documento extremamente importante para a História da Arte sobre o período medieval. Constituído por três livros, em que o primeiro, formado por trinta e oito capítulos, aborda a arte da pintura em geral e o segundo, organizado em trinta e um capítulos, trata dos procedimentos técnicos relacionados com o fabrico do vidro, fornos de fundição, coloração e pintura dos vidros. É o primeiro tratado sobre a realização dos vitrais. O último tomo aborda a metalurgia e é formado por noventa e seis capítulos.

A arte na Idade Média não estava separada da indústria. Muitas profissões que se formaram depois pelo aprovisionamento das oficinas, não existiam então, estando o conjunto dos materiais ao cuidado do artista. O pintor, por exemplo, estava reduzido a carpinteiro, a estofador e a químico, conforme ele tivesse necessidade de preparar os seus quadros ou as suas tintas. Teófilo conseguiu monopolizar sabiamente estas profissões, tão distintas entre si [...] O tratado deste monge é, ainda, notável pelo seu realismo prático. Não devemos esquecer que a maioria dos tratados medievais mostra fundamentar-se menos no empirismo prático dos seus autores e, mais, na eficácia teórica de práticas alquímicas ou de faculdades ocultas.¹⁰

De Sculptura, de 1504, figura como um dos tratados sobre escultura, do início do Cinquecento, da autoria do humanista Pomponio Gaurico. Dos vários assuntos abordados no corpo da obra, a arte da escultura, a fisionomia, a proporção, a perspectiva, também a fundição faz parte do estudo de Gaurico. Os investigadores André Chastel e Robert Klein entendem que Gaurico vê o “escultor como um bronzista”. Insere a fundição dentro do tronco principal, “*Sculptura* es el arte del

⁸ *Op. cit.*, p.9.

⁹ *Op.cit.*,p.8.

¹⁰ V. Ferreira Jorge, *op. cit.* p.7.

metal”.¹¹ A um dos seus ramos designa por *fusória* e apelida o outro de *ductoria* (invenção e execução do modelo).¹² Neste cabe a execução do modelo em barro ou em cera que “ [...] ‘guiará’ el trabajo como sustituto material de la *idea* [...]”.¹³ Este, por sua vez, é dividido em ‘*designatio* (invenção e construção ideal) ‘ e “*animatio* (imitação das características particulares do modelo”.¹⁴ No *designatio* enquadra a proporção e a perspectiva.

André Chastel e Robert Klein reconhecem que as fontes de Gaurico relacionadas com o trabalho do bronze devem ter sido essencialmente orais, obtidas através de contactos com artistas, nos seus locais de trabalho, e não vislumbram qualquer tratado técnico medieval que lhe tenha servido de base de apoio. Admitem que tenha lido *De Statua* de Leon Battista Alberti, que talvez tenha tido acesso às obras desaparecidas de Porcellio Pandoni, *De Arte fusoria*, e de Alberti, *Ars Aeraria*, e ainda a influências clássicas, em termos de arte, dos autores Pausanias, Filóstrato, Vitruvius e Plínio.¹⁵ Gaurico aborda no capítulo VI o processo de fundição, com o modelo de cera envolvido por argila misturada com estrume de cavalo,¹⁶ adicionando também cinzas ou pó de tijolo. Menciona três camadas a envolver o modelo e, finalmente, uma estrutura de ferro a reforçar o conjunto.¹⁷ Segundo Chastel e Klein, Gaurico limita-se a indicar a execução do modelo de cera, na sua forma mais simples, pondo em causa todo o trabalho efectuado, com os riscos inerentes ao resultado do fundido. Referem que, já naquela altura, em obras de grande dimensão e naquelas em que se pretendia salvaguardar o modelo original era feito um negativo do modelo¹⁸ que servia para aplicar a camada de cera no seu interior.¹⁹ Nesta linha de procedimento, a obra em bronze de Pier Jacopo Alari Bonacolsi, chamado Antico, é um bom exemplo, já que recorre a esta técnica que desenvolve já no último quartel do *Quattrocento*. Dieter Blume²⁰ refere o trabalho de

¹¹ Ver Pomponio Gaurico, *Sobre La Escultura*, Madrid, Akal, 1989, p.26 seg. Edição comentada e anotada pelos investigadores André Chastel e Robert Klein.

¹² *Op.cit.*, p.43.

¹³ *Op.cit.*, p.27.

¹⁴ *Ibidem*.

¹⁵ *Op. cit.*, p.25

¹⁶ O estrume de cavalo, já referido por Teófilo em *As Diversas Artes* (capítulo LXI, p.104), tinha a função de evitar a fractura da argila ao secar e contribuía, também, para o aumento da porosidade do molde.

¹⁷ Pomponio Gaurico, *Sobre La Escultura*, Madrid, Akal, 1989, p.251 seg..

¹⁸ Método indirecto.

¹⁹ *Op. cit.*, p.243 seg..

²⁰ Dieter Blume, “Sobre as técnicas da fundição de bronze na Renascença”, in Rolf Tolman, *A Arte da Renascença Italiana*, Könemann, 2006, pp.216-217.

Stone²¹ e a sua base de estudo alicerçada em radiografias tiradas aos bronzes, que permitiram detectar no seu interior pistas suficientes para explicar o processo técnico usado por Antico. O modelo original era, provavelmente, realizado em cera, tendo como suporte uma estrutura metálica no seu interior. A fase seguinte passava pela construção, em gesso, de uma forma de tacelos do modelo, que servia para vaziar cera líquida sobre as paredes do molde e, assim, obter um positivo em cera, cópia do original. Para obter uma peça oca em bronze, a camada de cera tinha a espessura pretendida que se queria no metal e o restante espaço interior, vazio, o núcleo, também designado por macho, nas suas diferentes partes, era preenchido com uma mistura de gesso e areia. Agrupados e emendados todos os elementos do modelo, depois de retirados da forma de gesso, seguiam-se as fases de construção em cera dos canais do sistema de gitagem e revestimento com material refractário do conjunto modelo e gitagem. A cozedura deste bloco retirava a cera do seu interior e facultava a entrada do metal.²²

La Vita di Benvenuto Cellini, texto autobiográfico que narra de forma romanceada a sua vida aventurosa, constitui um documento importante para a análise da sociedade italiana da primeira metade do século XVI. Os *Trattati dell'oreficeria e della scultura* (1568) e a autobiografia são uma referência importante para o estudo dos procedimentos técnicos usados pelo escultor e ourives Benvenuto Cellini. Do conjunto das obras em bronze que se conhecem deste escultor, o relevo Ninfa de Fontainebleau (1543-1544, Paris, Louvre), o busto de Cosimo I (1545-1547, Florença), tem destaque o seu Perseu (1554, Florença), marcadamente influenciado pelos temas mitológicos e onde a presença do nu é exaltada no seguimento da linha escultórica clássica, bem como pela obra dos escultores Donatello e Miguel Ângelo.

O bronze Perseu, encomendado por Cosimo I, para a Piazza della Signoria, seria mais uma peça a integrar o museu de escultura ao ar livre, já com obras dos mestres Donatello, Miguel Ângelo e Giambologna.²³ As descrições feitas por Cellini, em relação ao seu trabalho, evidenciam uma preocupação técnica enorme e são, por vezes, desafiadas pela opinião do cliente:

²¹Cf., R.E. Stone, *Antico and the Development of Bronze Casting in Italy at the End of the Quattrocento*, in the "Metropolitan Museum of Art Journal," 16, 1982, pp.94.

²² Dieter Blume, "Sobre as técnicas da fundição de bronze na Renascença", *op. cit.* pp. 216-217.

²³ Fernando Checa Cremades, prólogo da edição espanhola, Benvenuto Cellini, *Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura*, Madrid, Akal, 1989, p.11 seg..

Habiendo fundido la Medusa, que habia salido bien, llevaba a término mi Perseo com grandes esperanzas, pues ya tenio hecho en cera, y me prometia que en bronce me saldria tan bien como habia salido la Medusa. Y como viéndolo terminado en cera resultaba tan bello, al verlo así el Duque y pareciéndole muy hermoso, talvez porque alguien le hubiera hecho creer que en bronce no podría salir igual, o porque el Duque así se lo imaginara,[...] ‘ Benvenuto esta figura no te puede salir bien en bronce, porque el arte no lo permite.’[...] vuestra Excelencia ilustrísima tiene muy poca fe en mi; y creo que esto proviene de que vuestra Excelencia ilustrísima da demasiado crédito a quienes tan mal le hablan de mí, o de realmente no entiende de estas cosas. [...] de muchas innovaciones y mejoras que en él se vem , le he hecho dos salidas para el bronce, pues no era posible que de outro modo saliera bien esta difícil y retorcida figura;²⁴ y solo gracias a mis habilidades ha salido tan bien, lo cual no imaginaba ninguno de los que pratican este arte. Y tened por cierto, señor mío, que todas las grandes y difícilísimas obras que hice en Francia para aquel maravilloso rey Francisco, todas me salieron muy bien [...].²⁵

No capítulo LXXV, segundo livro, Cellini menciona o modo de extracção da cera da moldação do Perseu, o tempo usado nesta tarefa e a preparação do fosso para a colocação da moldação com os respectivos respiros, obra que fundiu de uma só vez. Nos capítulos seguintes relata todo um conjunto de episódios que ilustram as adversidades ocorridas, a fusão e o vazamento do bronze. Antes de avançar para o modelo definitivo do Perseu, realizou um modelo, em escala reduzida, em cera com cerca de 70 cm. O modelo final foi elaborado a partir da modelação do núcleo²⁶ da peça, usando uma “terra que usam fundidores de canhões”, cuja forma de preparação descreve.²⁷ Depois de cozida esta terra, já com a forma da peça esboçada, foi envolvida com cera.²⁸

[...] capa de cera uniforme de menos de un dedo de espesor; [...] De este modo continúe hasta que termine la figura con toda la diligencia y esfuerzo que me fue posible poner en ello. Seguidamente triture hueso de carnero, es decir, medula de cuerno de carnero quemada, [...] juntamente com él moli una mitade de yeso de Tripoli y, con una mitad de dicho yeso, astillas de hierro. Una vez bien trituradas estas tres cosas las mezclé com un poco de estiércol de buey o de caballo pasado por uns utilíssimo tamiz com agua pura, [...] y com este pincel aplique a mi estatua de cera una capa de dicho líquido repartida uniformemente; después lo dejé secar y, seguidamente, le aplique otras dos capas, siempre dejándolo secar com el grosor del filo de un cuchillo de mesa ordinário. Hecho ésto, la cubri

²⁴ A Medusa

²⁵ Benvenuto Cellini, *Vida*, Madrid, Ediciones Cátedra, 2007, p.465.

²⁶ Fundamental para obtenção de uma peça oca.

²⁷ Benvenuto Cellini, *Tratados de orfebrería, escultura, dibujo y arquitectura*, Madrid, Akal, 1989, p.151.

²⁸ Processo indicado por Cellini na Ninfa de Fontainebleau, *op.cit.*, p.150.

com una capa de tierra de médio dedo de grosor y trás dejarla secar, le coloque encima outra capa de un dedo; una vez seca esta última, volvi a aplicarle una nueva capa de similar grosor.²⁹

Após o vazamento do bronze, o fundido permaneceu na moldação dois dias até esfriar. O abate da moldação pôs a descoberto a cabeça fundida da Medusa e do Perseu (Fig.2), ambas muito conseguidas e o restante da peça apresentou, apenas nos dedos do pé direito, pequenas falhas de enchimento.³⁰



Fig.2 - Benvenuto Cellini, *Perseu*, 1553, bronze, altura 320cm, Florença, Piazza della Signoria.

Publicada em 1550, em Florença, *Le Vite de'piú eccellenti architetti, pittori et scultori italiani, da Cimabue, insino a'tempi nostri*, de Giorgio Vasari (Arezzo, 1511-Florença, 1574), é a obra mais importante deste artista da Renascença, que se destacou mais como historiador e crítico de arte. Citando Lionello Venturi:³¹

A obra de Vasari é precedida por um seu tratado de arte, bastante mais técnico do que o de Alberti, por exemplo, mas que deixa perceber, em Vasari, o desejo de estabelecer uma relação entre biografia dos artistas e a teoria da arte. [...] Mas aquilo que ele fez, como ninguém antes dele, nem sequer na Antiguidade, o fizera, foi desenvolver extraordinariamente a narração da vida dos artistas e a descrição das suas obras, dando assim provas de um interesse histórico novo.

²⁹ *Op. cit.*,p.150.

³⁰ Benvenuto Cellini, *Vida*, Madrid, Ediciones Cátedra, 2007, p.474.

³¹ Lionello Venturi, *História da Crítica de Arte*, Lisboa, Edições 70, 1998, p.104.

Relativamente aos procedimentos técnicos de execução da moldação para vazamento dos metais, Vasari³² descreve o mesmo princípio utilizado por Antico para as figuras pequenas, já referido anteriormente. Quanto às obras de maior vulto, indica que se deve realizar um modelo em barro com todos os detalhes, de tamanho idêntico à figura pretendida em bronze. Segue-se a fase de construção de um molde em blocos de gesso, fragmentado, com pontos de encaixe, numerados, com o negativo da peça. Constrói-se a alma da figura (corresponde à parte da moldação anteriormente designada por núcleo) a partir de barro misturado com estrume e resíduos de lã, a qual terá a forma do modelo, ajustada ao molde de gesso e cozida para extrair a humidade. É aplicada a capa de cera misturada com terebintina e sebo, a partir do molde de gesso. A descrição de Vasari não é clara nesta etapa do processo, mas tudo indica que a cera é vazada no intervalo entre o gesso e a alma, em cada um dos módulos da moldação que, agrupados, formarão o conjunto total alma e modelo de cera. Os blocos de gesso são retirados e a cera é retocada. Nova operação tem lugar com a aplicação de uma “cinza húmida,”³³ a pincel, a cobrir a cera. A etapa seguinte diz respeito ao revestimento da cera com o material refractário, “...pasta de barro muy fina, borra y estiércol de caballo...” (mistura semelhante às referidas noutros exemplos), aplicado em várias camadas. Para manter a alma e o molde exterior estáveis são colocados ferros que atravessam estes dois corpos e consolidam assim toda a moldação, evitando deste modo, o encosto das duas partes, separadas pela cera e, mais tarde, depois do vazamento, pelo metal. Este conjunto é colocado no fogo para retirar toda a cera e eliminar a humidade. Vasari alude a quão importante é esta operação de retirada da totalidade da cera do interior do molde e esclarece que havendo um perfeito controlo no peso da cera do modelo e da derretida, contando com as perdas, “los vaciados resulten hermosos y pulidos”. Indica que o molde deve ser enterrado junto ao local do forno em condições de resistir à pressão do metal em fusão. Lembra, também, a relação de proporção de uma libra de cera para dez de metal e a composição da liga conforme a finalidade: para estátuas, dois terços de

³² Giorgio Vasari, *LAS VIDAS, de Los Mas Excelentes Arquitectos, Pintores y Escultores Italianos Desde Cimabue a Nuestros Tiempos*, Madrid, Cátedra, 4ª edição, 2007, p. 65.

³³ *op. cit.*, pp.65-66. Nesta altura da descrição a informação é também ambígua, contudo, a presença da cinza em contacto com a cera e o material refractário do molde contribui, certamente, para melhorar a textura do fundido, prática que é comum no processo de fundição por areia, com a pincelagem de um induto líquido, designado negro de estufa, composto por negro vegetal, grafite e argila refractária, aplicado na superfície do molde e macho a estufar, cf. Armando Cardoso, *Manual do Fundidor*, livro I, 2ª edição, Amadora, Livraria Bertrand, 1976, p. 189.

cobre e um de latão; para sinos, cem partes de cobre e vinte de estanho; para canhões, por cada cem de cobre, dez de estanho.³⁴

I.4. A *Descrição Analytica* da Execução da Estátua Equestre de D. José I e a sua Fundição – Uma referência a nível nacional



Fig.3 - Machado de Castro, *Estátua Equestre de D. José I*, 1775, bronze e pedra de lioz, Lisboa, Praça do Comércio.

“Em 15 de Outubro de 1774, vio Portugal pela primeira vez, fundir-se huma Estatua Equestre collossal de hum só jacto”.³⁵ Obra maior da autoria do escultor Joaquim Machado de Castro (Fig.3), que António Feliciano Castilho, citado por Henrique de Campos Ferreira Lima³⁶, chamou o “ primeiro escultor portuguez verdadeiramente admirável”. A *Academia Real das Sciências de Lisboa*, no mês de Fevereiro de 1814, honrou o escultor ao admiti-lo como sócio, facto que mereceu o reconhecimento de Machado de Castro em carta enviada a esta Sociedade: “...agradecimentos a todos os III.mos Senhores Academicos, por hum favor, a primeira vêz conferido (em Portugal) a hum Artista...”.³⁷

³⁴ *Ibidem*.

³⁵ Joaquim Machado de Castro, *DESCRIÇÃO ANALYTICA da execução da Real Estatua Equestre do Senhor Rei Fidelissimo D José I*, Lisboa, Academia Nacional de Belas Artes, edição fac-similada, comemorativa do segundo centenário da inauguração da Estátua Equestre de D. José I, 1975, p. 238

³⁶ Henrique de Campos Ferreira de Lima, *JOAQUIM MACHADO DE CASTRO, Escultor Conimbricense*, Subsídios para a História de Arte Portuguesa, 2ª edição, Coimbra, Instituto de História de Arte, Universidade de Coimbra, 1989, p.V.

³⁷ *Op. cit.* pp. 317-318.

O manuscrito da *Descrição Analytica*, terminado em finais de 1793 e levado ao prelo em 1810, representa um livro de memórias, mas, para José Augusto-França, é algo mais: “Além de estabelecer uma cronologia dos acontecimentos, do projecto até à fundição, através duma narrativa minuciosa, o texto patenteia o estado de conhecimentos técnicos e históricos e, sobretudo, duma cultura estética, nos finais de Setecentos em Portugal”.³⁸

Frequentemente, ao longo da obra, Machado de Castro refere documentos da especialidade:

[...] mostrar as fontes aos menos instruídos; e também uso dellas, para que não haja quem julgue me quero erigir em Legislador da Arte. Eu amo a verdade; [...] Tenho ainda outro fim nas authoridades que allego, o qual he ficar na certeza de que a obra leva alguma cousa boa: pois do que he propriamente meu sempre devo desconfiar.³⁹

A modéstia de Machado de Castro é bem patente na anterior citação e normalmente é apanágio das figuras ilustres. O estudo de Miguel Figueira de Faria⁴⁰, acerca da *Descrição Analytica...* e da Biblioteca de Machado de Castro, tem por base a investigação sobre inventários e testamentos de bens cujo alvo, no caso concreto, foi o espólio da Biblioteca de Machado de Castro, elemento fundamental, segundo este autor, para o entendimento da formação intelectual do artista⁴¹. Indica o número de obras do acervo bibliográfico de Machado de Castro, quarenta e nove, que aparecem referidas ao longo da *Descrição Analytica...*. Interessa, contudo, mencionar as que descrevem os processos técnicos de fundição de estátuas equestres, por cera perdida, relativas às esculturas de Luís XIV de Girardon e Luís XV de Bouchardon⁴² que, no parecer de José Augusto-França,⁴³ terão sido transmitidos por Machado de Castro ao responsável pelas *officinas da Fundição de Artilheria*, Bartolomeu da Costa. Ainda sobre as *Descrições*, o nosso escultor destaca a de Mariette, “muito mais circunstanciada, e

³⁸ José Augusto-França, “Joaquim Machado de Castro e a *Descrição Analytica...*”, in Joaquim Machado de Castro, *DESCRIÇÃO ANALYTICA...*, posfácio da 2ª edição, p.343.

³⁹ Machado de Castro, *op. cit.*, pp. XIV-XV

⁴⁰ Miguel Figueira de Faria, *Machado de Castro – (1731-1822), Estudos*, Lisboa, Livros Horizonte, 2008.

⁴¹ Miguel Figueira de Faria, *op. cit.*, p.122, “Encontramos no seu inventário oito edições quinhentistas, entre as quais clássicos de Dürer, Daniel Barbaro ou Petrarca, e vinte e nove do século XVII, o que nos revela que não se inibia de recorrer a obras antigas para recolher a informação desejada”.

⁴² *Ibidem*, Germain de Boffrand, *Description de ce qui a été pratiqué pour fonder en bronze d’un seul jet la figure equestre de Louis XIV, élevée par la ville de Paris dans la place Louis le Grand, en 1699...*, e Pierre-Jean Mariette, *Description des travaux qui ont précédé accompagné et suivi la fonte en bronze d’un Seul jet de statue équestre de Louis XV...*, notas 25 e 26, p.131.

⁴³ Cf., posfácio da 2ª edição, p.343.

mais rica de estampas e de Impressão, como obra, que o Senado mandava fazer, e imprimir”.⁴⁴

Nos finais de Dezembro de 1770, Machado de Castro inicia um pequeno modelo em cera que é motivo de considerações várias na *Descrição...* (capítulo II) sobre a indumentária da figura, referências históricas, composição formal, etc.. O estudo de Machado de Castro foi seleccionado. Avança para a construção de um modelo em barro, que serviu de guia à realização do modelo grande em gesso (capítulo III). Fala na *Symetria Equestre*, e nas medidas tomadas do natural, “... até aqui não declarada por outro algum Artista...”⁴⁵ (capítulo IV). No capítulo V retrata a construção da estrutura e do modelo grande em gesso, que, depois de terminado, fica à responsabilidade de Bartolomeu da Costa para o passar a bronze. Este executa uma *fôrma* de taceiros em gesso do modelo original que serve para realizar o modelo de cera, tarefa que é elogiada por Machado de Castro.⁴⁶ Nos vários taceiros é aplicada a cera com a espessura pretendida no metal.

Depois de estarem as peças da *fôrma* com a cera, que lhes compete, já retocada, se vai novamente armando a mesma *fôrma* para em fiadas como de cantaria (que esta he a sua construção) para se ir criando o seu *caroço*, enchendo com ele e massiçando a cera. Este enchimento interior a que chamão *caroço*, ou *macho*, he construído. e apoiado em huma armação de ferro⁴⁷ muito complicada, e da qual ficam algumas partes dentro do bronze para lhe servirem tambem de sustentaculos⁴⁸

Com o *caroço* completo, desmonta-se a *fôrma* de gesso que põe a descoberto a estátua em cera, disponível para os retoques finais, colocação dos diferentes canais do sistema de giteira, também em cera, designados conforme a sua função: *giteiros*, os que levam o metal à *fôrma*; *esgoteiros*, os que permitem evacuar a cera; *evaporadores*, os que libertam o ar.⁴⁹ Esta terminologia é apresentada por Machado de Castro e é muito similar à actual. O que não é actual é fundir peças artísticas desta escala, por este método, de um só jacto.⁵⁰

O passo seguinte é muito idêntico aos casos já referidos com a aplicação a pincel duma mistura de barros líquidos,⁵¹ directamente na cera, formando sucessivas camadas, todas elas aplicadas no interior do fosso, para formar a última *fôrma*. Por fim a cozedura

⁴⁴ Machado de Castro, *op. cit.*, p. IV.

⁴⁵ *Op. cit.*, p.XXVIII.

⁴⁶ *Op. cit.*, p.132.

⁴⁷ Cem quintais, o peso da armação interior, *op. cit.*, nota (*), p.239.

⁴⁸ *Op. cit.*, p.135.

⁴⁹ *Op. cit.*, p.136.

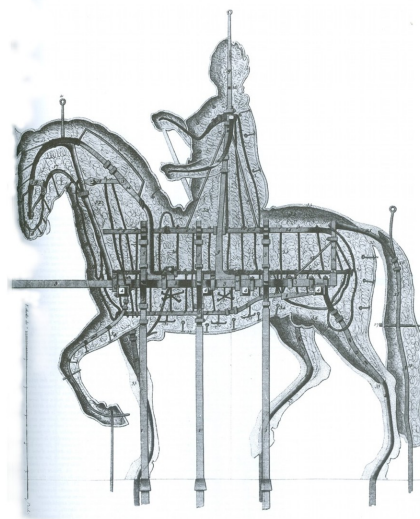
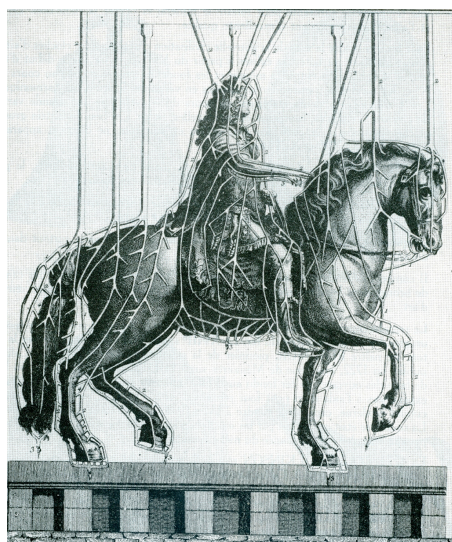
⁵⁰ Quinhentos quintais o peso do bronze da estátua, *op. cit.*, nota (*), p.239.

⁵¹ Machado de Castro diz que os franceses chamam a esta mistura *potêa*, *op. cit.*, p.237.

desta, com a saída da cera, e vazamento do metal para a cavidade deixada pelo modelo de cera.

Entre as várias estampas que fazem parte da *Descrição Analytica...* não figuram as relativas ao sistema de gitagem, nem à estrutura interna de ferro, assunto que não merece por parte de Machado de Castro uma preocupação maior:

[...] ainda que não trato da sua fundição: circunstancia, que me não compete por existir o Sábio Director⁵² d'essa manobra, a quem toca esse assumpto; e por ser matéria, que se acha tratada muito individualmente, não só na Encyclopédia, mas ainda com maior extensão nas duas alegadas Descrições das Estatuas de Luiz XIV., e Luiz XV., cujas narrações dão todas as luzes precisas para se conseguirem com felicidade semelhantes empresas⁵³ (Figs. 4 e 5).



Figs.4 e 5 - Estátuas Equestres de Luís XIV e Luís XV com o sistema de gitagem e estrutura interna de ferro, 1699 e 1763.

⁵² Refere-se a Bartolomeu da Costa.

⁵³ Machado de Castro, *op. cit.*, pp.V-VI.

II. O Processo de Fundição por Modelo de Cera Perdido na Actualidade

II.1. Método do bloco cerâmico

Este método não difere em muito dos casos referidos no capítulo I. É normalmente o processo mais usado na fundição artística, na medida em que permite a execução da moldação cerâmica com mais celeridade, comparativamente com o método da carapaça cerâmica. Começa-se por construir, em redor do modelo de cera, todo o sistema de gitagem, também designado por cacho ou árvore. Composto pelo gito em cera, em forma de funil, local por onde vai entrar o metal, é colocado num ponto mais alto que o modelo. A partir deste tronco de cone saem canais de cera que descem para o modelo e destes ramificam outros, de menor diâmetro, designados por ataques. O sistema necessita de outros ductos, também em cera, com a função de libertar o ar e gases formados no momento do vazamento do metal (Fig.6). Com todo o sistema montado, o cacho é colocado sobre um estrado de madeira que serve também de base de apoio ao molde refractário, envolto por uma argola em chapa de ferro que consolida o bloco. Faz-se uma mistura de gesso refractário e água, por norma num equipamento misturador com sistema de vácuo. O refractário é vertido no interior do corpo metálico, até cobrir toda a cera do modelo e sistema de gitagem. Depois da presa do refractário, é retirado o estrado e colocado o bloco no forno, o que permite a extracção da cera por fusão, a que se segue o ciclo de cozedura do gesso, culminando com o vazamento do metal.⁵⁴

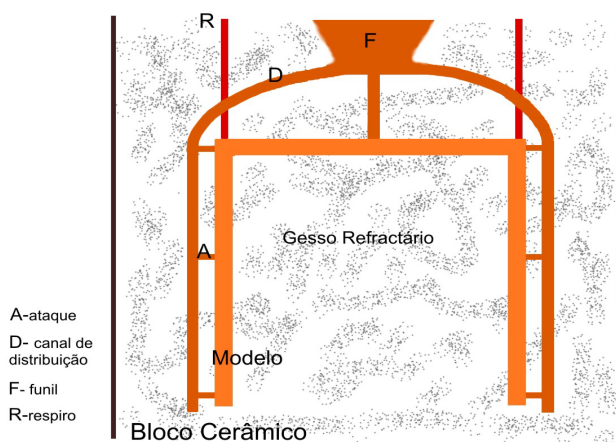


Fig.6 - Esquema do bloco cerâmico.

⁵⁴ Ver imagens, com todo o processo, no capítulo III.4.

II.2. Método da carapaça cerâmica

Trata-se de um processo de moldação usado essencialmente na indústria de fundição na produção de grandes séries, com sistemas quase totalmente automatizados, que permite efectuar vazamentos de ligas metálicas com alto ponto de fusão, nomeadamente aços inoxidáveis.

Partindo do modelo de cera, é montado o cacho ou sistema de gitagem, com o funil de razoável dimensão, em função do volume e do número de modelos a alimentar. Estes são agrupados e ligados a canais de distribuição (Fig.7).

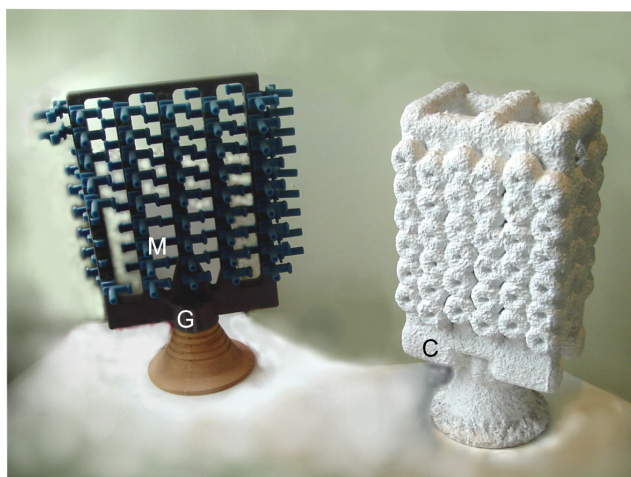


Fig.7 - Zollern, processo industrial. M- modelos e cacho G- gitagem C-carapaça cerâmica.

Com o modelo montado no cacho, método que ainda se executa manualmente com ferramentas quentes, procede-se ao mergulho do cacho no banho cerâmico refractário, composto essencialmente por partículas coloidais de sílica com farinha de zircão e/ou de silicato de etilo, seguido do escorrimento. Esta primeira camada vai copiar a superfície do modelo e, estando ainda húmida, aplica-se material refractário seco com granulometria baixa:

“Os materiais mais comuns para moldação em carapaça cerâmica são os siliciosos, os de zircónia e os de alumino-silicatos (compostos por mulite e normalmente sílica). Estes três tipos são usados em combinações várias nas diversas aplicações”.⁵⁵

⁵⁵ José Junqueira, “ Fundição por Cera Perdida/Moldação em Carapaça Cerâmica,” *FUNDIÇÃO*, n.º242, Associação Portuguesa de Fundição, 3.º trimestre, 2006, p.10.

Seguem-se sucessivas camadas de banho cerâmico com projecção de refractários secos de maior granulado (a zircónia apresenta uma temperatura de fusão na ordem dos 2420° centígrados). Em ambiente controlado, em termos de humidade e temperatura, cada camada é seca, para evitar a deformação da moldação. Segundo José Junqueira⁵⁶ [...] a espessura da carapaça varia entre 5 e 15mm, de forma a obter a resistência mecânica necessária ao vazamento”. Depois do modelo e gitagem se encontrarem completamente revestidos pela carapaça cerâmica (Fig.8), também designada casca cerâmica, vem a remoção da cera num forno autoclave a 200° C., com pressão controlada a oito bares, para evitar a fissuração da carapaça provocada pela dilatação da cera no momento da extracção. Resta consolidar o molde cerâmico sujeitando-o, noutra forno, já sem a cera, à temperatura de 1100° C., para resistir ao vazamento do metal, que é feito com a carapaça bem quente para assim evitar o choque térmico e possibilitar uma maior fluidez do vazado no interior do molde.⁵⁷

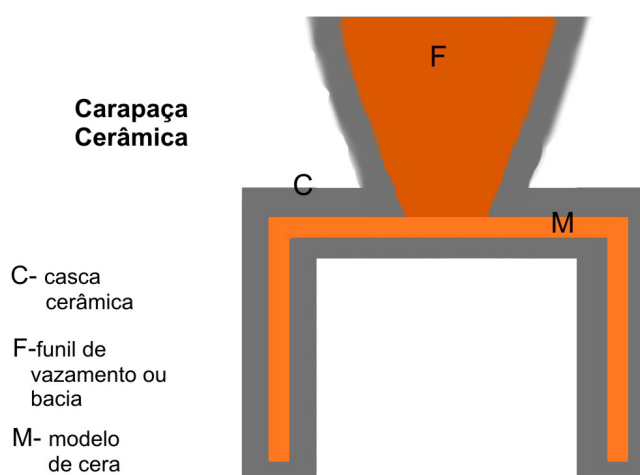


Fig.8 - Esquema da carapaça cerâmica

Em ambos os processos, bloco e carapaça, é necessário destruir, por meios mecânicos ou químicos, o molde cerâmico para destacar o modelo da gitagem e dar-lhe o acabamento desejado.

⁵⁶ *Ibidem.*

⁵⁷ Ver, no Apêndice, imagens das peças fundidas na Zollern, por este processo, p.57.

II.3. A importância do processo para a realização da escultura

Ao longo dos tempos, o processo de fundição por modelo de cera perdido manteve-se praticamente invariável. Há que destacar, contudo, que o trabalho de investigação científica aplicado à conformação dos metais tem relativamente poucas décadas. Um conjunto de novos materiais, novos equipamentos, outros procedimentos, sustentados em diversas áreas do conhecimento, com destaque para a Química, a Física, a Mineralogia, a Metalurgia, tem contribuído para a afirmação desta técnica de fundição usada em diferentes manifestações, com diferentes finalidades pelo Homem.

Comparativamente com outros processos de fundição, este traduz-se numa mais-valia para a escultura, presente ao longo de muitas gerações, desde a peça mais simples, até à escultura mais complexa e de maior envergadura. Assume especial destaque a possibilidade de obter peças de grande complexidade de pequeno e grande vulto, mesmo com *contra-saídas*,⁵⁸ com excelente qualidade superficial de baixa rugosidade, tão importante para a definição da textura da modelação escultórica, sem linhas de apartação⁵⁹ (presentes no processo de moldação por areia), vazadas de uma só vez, o que evita a posterior ligação das diferentes partes de um todo, com vantagem para o rigor dimensional da escultura. É a tecnologia de fundição que reproduz com melhor fidelidade no metal o modelo escultórico, mas com o inconveniente de ser a mais onerosa.

II.4. As novas tecnologias

O Mundo conheceu os primeiros computadores, projectados para realizar o papel de calculadoras programáveis com fins balísticos, em 1945. Os E.U.A. e a Inglaterra foram pioneiros na utilização destes equipamentos. Tinham uma escala monumental, comparativamente com um computador actual. As “simples” tarefas afectas às grandes máquinas consistiam em cálculos científicos, estatísticos, etc.. Depressa a revolução informática começou a sentir-se e os anos 60 marcaram a utilização da informática no campo civil. Mas é a partir da década de 70, com o avanço da tecnologia informática, graças ao microprocessador, que os sistemas digitais ganham um novo e grande

⁵⁸ Reentrâncias ou prisões do modelo.

⁵⁹ Pequena saliência de metal visível na peça acabada de fundir e originada pelo fluir do metal entre os diferentes taceiros da moldação de areia. Ver Marie-Thérèse Baudry et al., *La Sculpture, Méthode et Vocabulaire*, Paris, Imprimerie Nationale, 1990 (3e édition), p.287.

impulso, com modificações na organização económica e social das sociedades. Criaram-se condições para a automatização industrial e para todo um conjunto de máquinas laborarem em função de uma lógica digital. Rapidamente o computador pessoal passou a fazer parte desta sociedade, com necessidades cada vez maiores de comunicação, tendo como suporte de toda esta infra-estrutura os microprocessadores e as memórias informáticas a que se juntou, mais recentemente, a evolução no campo das telecomunicações.

II.4.1. O conceito

A área das tecnologias electrónicas e espaciais e a produção em série têm criado um fluxo contínuo de soluções que tornaram possível fazer mais com menos, executar rapidamente o que antes implicava trabalho demorado, empregar uma única peça integrada para substituir o que anteriormente era um mecanismo complexo, variar e multiplicar infinitamente as formas e as imagens possíveis de serem produzidas.

Tudo isto se deve, certamente, ao efeito sinérgico criado pela integração ocorrida nos últimos anos entre a ciência dos materiais e da informação, integração essa que produziu uma profunda transformação no modo como a matéria pode ser utilizada nas actividades humanas.⁶⁰

Seguindo a leitura pertinente de Ezio Manzini ao referir-se à forte presença das tecnologias e à cooperação de diferentes áreas com efeitos na matéria, interessa referir a posição de Claude Cadoz: “ O computador inaugura uma nova era da tecnologia cuja primeira característica fundamental é, talvez, a síntese entre o signo e o acto, a representação e a acção”.⁶¹ Nesta perspectiva, as tecnologias digitais têm um desempenho vasto e o computador traz duas vertentes novas na representação: a digitalização e o cálculo. A primeira consiste na substituição/conversão de um sinal analógico, constituído por uma multiplicidade de valores, que pode ser modelizado de acordo com um número finito de equações e regras, que correspondem a um número finito de possibilidades. A segunda prende-se com as funções de processamento aritmético e lógico, traduzidas em linguagem binária por valores de 0/1, utilizados nas operações elementares e complexas, que podem processar cada modelo definido.

As novas tecnologias representam um conceito inovador para o processo de fundição por modelo de cera perdido. A realização de um protótipo e a sua conversão num modelo metálico são antecedidas por uma representação com recurso a programas de CAD 3D (projecto assistido por computador), sua materialização num modelo

⁶⁰Ezio Manzini, *Design em Aberto- Uma antologia*, Porto, Centro Português de Design, 1993, pp.139-140.

⁶¹ Claude Cadoz, *A Realidade Virtual*, Lisboa, Instituto Piaget, 1994, p.115.

tridimensional (objecto), com recurso a técnicas de Prototipagem Rápida (RP-“*Rapid Prototyping*”), que serão referidas no próximo capítulo. Trata-se de técnicas com um largo campo de aplicação e com resultados efectivos nas áreas do Design Industrial, Engenharias, Arquitectura, Medicina, etc.. Também as técnicas CAM (processos de manufactura assistida por computador) são outra possibilidade na obtenção de modelos. Nas diferentes fases, os recursos são variados e os modelos poderão ser obtidos pelas variantes, método directo (protótipo em material fusível, ceras, poliestireno) ou método indirecto, com molde de elastómero de silicone ou metálico do modelo da prototipagem que se pretende em cera e posteriormente em metal.

Retomando as palavras de Cadoz, cumpre-se, efectivamente, a materialização de uma ideia, com relativa rapidez, parte inicial da esfera da concepção/produção: “...a síntese entre o signo e o acto, a representação e a acção”.⁶²

II.4.2. A aplicação em escultura

[...] As técnicas são mensageiras de projectos, de esquemas imaginários, de implicações sociais e culturais muito variadas [...] As máquinas a vapor subjugarão os operários das fábricas têxteis do século XIX, ao passo que os computadores pessoais aumentaram a capacidade de agir e de comunicar dos indivíduos durante os anos oitenta deste século [...] Por trás das técnicas agem e reagem as ideias, os projectos sociais, as utopias, os interesses económicos o leque inteiro dos jogos do homem em sociedade. (Pierre Lévy, 2000:23 sg.).

Toda a produção artística, que tem consciência do seu papel em sociedade, procura utilizar todos os meios, técnicas e materiais ao seu alcance, se reconhecer neles potencialidades, para se afirmar criticamente. É visível, ao longo dos tempos, esta postura mais ou menos radical nos diferentes movimentos artísticos e, individualmente, em cada autor. Não é só o facto da afirmação crítica, mas são sobretudo os novos domínios técnicos que trazem para a actividade artística, nomeadamente para o campo da escultura, um alargamento estético. Este expandir estético é potencializado em obras que reflectem a inovação tecnológica e a utilização dos novos materiais. O artista é o cientista na sua própria demanda.

No ano de 2003, a artista plástica brasileira Laurita Salles defendeu a sua tese “Poéticas Visuais Unidades Fugidias” no Departamento de Artes Plásticas da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de S.Paulo. Apresentou esculturas realizadas em

⁶² *Ibidem*.

prototipagem rápida (Fig.9) pela sinterização de resina, um trabalho pioneiro com esta tecnologia no Brasil.

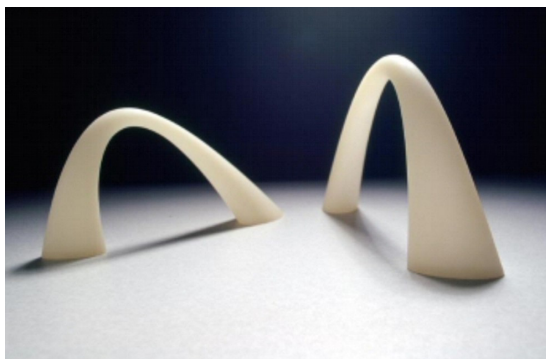


Fig.9 - Laurita Salles, peças em resina Vantico renshape SL 5260 em RP.

Segundo Laurita Salles⁶³: “Temos uma escultura que revela a ambiguidade de objectos complexos onde o código informação e matéria estão entrelaçados [...] considero-os objectos complexos, confluência entre imagens numérica e matéria, tendo cravada em sua morfogênese a configuração pontual da imagem de síntese”.



Fig.10 - George W. Hart, *Chiral Two-Layer Geodesic Sphere*, em RP.

O escultor americano, matemático e investigador na área da informática, George W. Hart⁶⁴ desenvolveu um trabalho centrado no estudo da simetria da esfera (Fig.10). Em finais de 2003, no MIT Office of de Arts e no MIT Computer Science and Artificial

⁶³ Disponível em: http://www.cimject.ufsc.br/servicos/Cases/02_57USP18JULHO2003.htm, acedido em Março de 2009

⁶⁴ Disponível em: <http://www.georgehart.com/rp/rp.html>, acedido em Março de 2009.

Intelligence Laboratory, realizou uma grande variedade de esculturas geométricas (Fig.11), que materializa em modelos realizados por *rapid prototyping* através da sinterização de resinas. A sua investigação reporta-se, por vezes, a exemplos oriundos da ilustração produzida por Leonardo da Vinci para o tratado do matemático Luca Pacioli, ‘*De Divina Proportione*’, finais do *Quattrocento* (Fig.12).

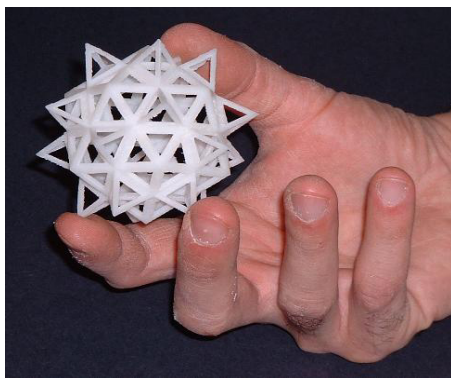


Fig.11 - George W. Hart, modelo em RP.

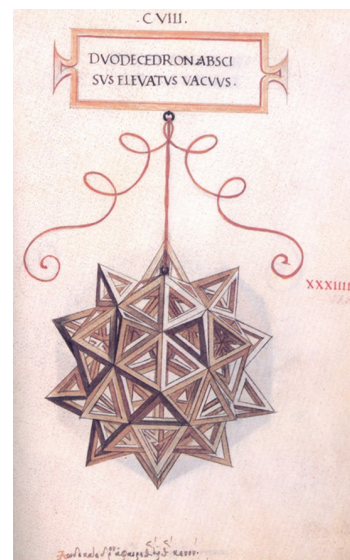


Fig.12 - Leonardo da Vinci.

A obra do artista MC Escher é também uma referência para este escultor americano da geometria tridimensional complexa (Fig.13).



Fig.13 - George W. Hart, modelo em RP.

O escultor Tony Cragg, numa iniciativa da UK DIY Retailer Homebase e Tate Gallery, no ano de 2000, cuja lema era ‘At Home With Art’, acedeu à proposta de

concretização de modelos tridimensionais a partir de projectos apresentados por escultores. Pretendia-se com este evento tornar a arte contemporânea mais acessível. O projecto foi concretizado com recurso às tecnologias digitais, tendo por base o *software* de modelação *Power Shape* da empresa Delcam (Fig.14).⁶⁵



Fig.14 – Tony Cragg, *garfo e pá*.

II.4.3. O potencial

Projecto iniciado em 1996 e ainda por concluir, Maitreya é a designação da maior estátua do mundo, com uma centena e meia de metros, símbolo da paz e da felicidade, a realizar em bronze e a implantar em Bodhgaya, na Índia.

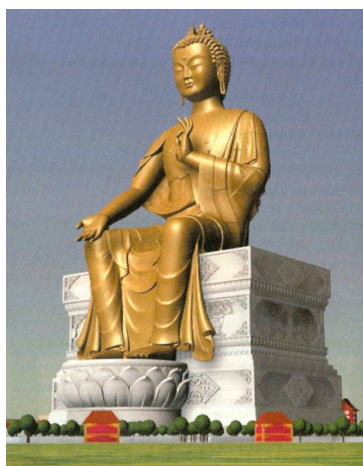


Fig.15 – Estátua de Buda.

Os estudos prévios deste grande volume começaram com uma peça de dois metros de altura da autoria dos escultores Peter e Denise Griffin. Para dar corpo a este projecto estão envolvidas várias áreas do conhecimento com destaque para a Escultura,

⁶⁵ “ Em Casa com Arte”, *News Delcam*, 1ª edição, 2000, p.12.

a Engenharia Inversa ⁶⁶ o CAD /CAM ⁶⁷ e a Engenharia Civil, uma vez que a base de apoio da figura do Buda é um edifício de dezassete pisos.

A digitalização do modelo escultórico foi realizada no final do ano 2000, com um *scanner* óptico que reproduziu a superfície da modelação, seguindo-se a estruturação num conjunto de elementos triangulares com a aplicação do software informático *Copy Cad* da Delcam. As tolerâncias na medição do volume foram extremamente apertadas, na ordem de uma centésima de milímetro, para evitar na ampliação final erros superiores a um metro. Com estes valores de tolerância, a peça final de 150 metros de altura apresentará diferenças na ordem de 10 a 11 mm.⁶⁸

O volume da estátua formado por 6 mil painéis de bronze, com dois metros quadrados cada, foi definido a partir do projecto CAD 3D capaz de fragmentar as diferentes partes de um todo e atribuir-lhe a necessária espessura. No seguimento do “tacelar informático” deste enorme modelo virtual, a fase seguinte consistiu na aplicação de um *software* CAM *PowerMill*, também da empresa Delcam, específico para máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC) que executarão a modelação, por subtracção, directamente na areia de fundição.

Em parceria com o Departamento do Património Arquitectónico e Paisagístico e o *Museo dell’Opera di S. Maria del Fiore* de Florença, Grazia Tucci, professora adjunta de topografia da Faculdade de Arquitectura, desta cidade, tem vindo a explorar métodos e técnicas de recolha de dados volumétricos a partir de esculturas do séc. XV. Recorre a equipamentos digitais e técnicas de engenharia inversa. A finalidade desta recolha consiste na elaboração de ficheiros digitais com os modelos das esculturas, que possibilitem a realização de réplica capaz de ocupar o lugar da escultura original na fachada do edifício de reconhecido valor arquitectónico. Acima de tudo interessa preservar e manter a traça compositiva destas fachadas nas suas vertentes arquitectura/escultura. A poluição atmosférica e os fenómenos físico-químicos ligados à degradação dos materiais, nomeadamente no caso da pedra, obrigam a programas de restauro. Nesta perspectiva, todo o trabalho de documentação destes volumes é realizado com equipamentos de digitalização de óptica por laser, sem contacto, para

⁶⁶ Do inglês, *Reverse Engineering* é um campo da engenharia que tem por objectivo redesenhar novos produtos a partir de produtos já existentes. Conseguir reabilitar e converter o velho e obsoleto produto num novo com outro potencial. Recorre a diferentes tecnologias de digitalização e impressão 3D.

⁶⁷ Projecto assistido por computador e processos de manufactura assistida por computador.

⁶⁸ “A maior estátua do mundo projectada em CAD”, *CADproject*, 04, Ano 1, 2002.

evitar danificar a superfície das peças. Evita-se, assim, por força da lei italiana, o tradicional processo de moldes directos. Grazia Tucci⁶⁹ refere que as técnicas digitais de recolha de dados 3D têm evoluído e as avaliações comparativas entre obras original/original e original/réplica adquirem outra dimensão. Dados mais precisos facilitam uma monitorização mais efectiva das fases de degradação e restauro. Menciona, contudo, as implicações inerentes ao processo de medição e reprodução de obras de arte, assunto polémico que remete para o estudo do filósofo Walter Benjamin e que será abordado adiante no capítulo IV.

Relativamente aos dois exemplos, verifica-se uma utilização coerente das novas tecnologias, ajustadas a realidades distintas, mas próximas, com novos métodos de identificação, recolha, tratamento e simulação de novas realidades virtuais que poderão vir a ser corporizadas. O facto de conseguir ampliar para escala monumental virtual 3D e com precisão e rapidez determinar qualquer ponto com as suas coordenadas espaciais (X; Y; Z), é uma mais-valia para o estudo dos volumes no espaço⁷⁰. A retirada da escultura original, exposta na fachada, e colocada em local protegido e de fácil leitura/estudo evita a sua contínua degradação e possibilita uma análise histórica, técnica e estética mais rigorosa.

⁶⁹ Cf. “El arte de medir”, la entrevista, *A MEDIDA*, número 4, Hexagon metrology, 2007.

⁷⁰ Assunto que merece um tratamento algo complexo e demorado quando é necessário ampliar ou reduzir por processos analógicos: “Le pantographe des sculpteurs, agrandissement d’un modele à l’aide d’un châssis taille avec mise-aux-points”. Cf. Marie-Thérèse Baudry et al., *La Sculpture*, vocabulaire et méthode, pp. 81 e 550.

III. O TRABALHO PRÁTICO (As tecnologias digitais e a fundição por modelo de cera perdido na realização da escultura)

III.1. A digitalização 3D

A pesquisa que levámos a cabo, no trabalho experimental, incidiu na utilização de equipamentos digitais, com o objectivo de estudar as potencialidades destas ferramentas na proposta escultórica. Em termos práticos, o início do trabalho efectivou-se com a modelação de três estudos, em relevo, em superfície plana, pelos processos convencionais (Figs.16,17 e 18).



Fig.16 - Estudo 1- Figura feminina.

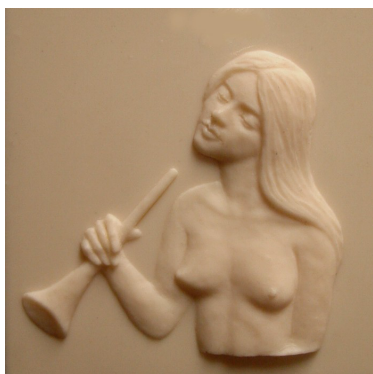


Fig.17 - Estudo 2- Figura feminina com trompa.



Fig.18 - Estudo 3- Cavaleiro.

A partir deles procedeu-se à sua digitalização 3D, por contacto⁷¹, através da utilização do equipamento *Cyclone* da *Renishaw* (Figs.19 e 20). A leitura da superfície dos relevos foi efectuada com uma ponteira cónica de 30°, de 0,2mm de diâmetro, que fez o

⁷¹ “Tem a vantagem de possuir elevada precisão, a qual depende do número de pontos utilizados para gerar o modelo[...]como inconveniente o facto de ser muito lento quando se pretende uma elevada precisão.” Alves et al, *ProtoClick-Prototipagem Rápida*, Porto, ProtoClick, 2001, p.15.

varrimento total da área a digitalizar, em contacto permanente com a superfície a medir⁷², demorando cerca de 10 horas em cada uma das figuras femininas, estudos 1 e 2 (Figs.16 e 17), correspondendo a uma área 200cm², em cada relevo, e 15 horas no estudo 3 (Fig. 18), com uma área de 400cm². Houve o cuidado de anular na modelação todas as *contra-saídas* das peças, para possibilitar o acesso da ponteira a todos os volumes, situação análoga ao processo de elaboração dos modelos para a realização dos cunhos em medalhística.



Fig.19 - Máquina de digitalização 3D por contacto.



Fig.20 - Digitalização de relevo

Com a digitalização 3D obtém-se uma nuvem de pontos (Fig.21) que é convertida pelo *software* utilizado, *Copy-Cad*, numa malha de triângulos (ficheiro STL)⁷³ (Fig.22).



Fig.21 - Representação da nuvem de pontos.

⁷² “ los verdaderos sensores de digitalización en 3D son los sensores ‘isotópicos’, lo cual significa que pueden ejercer la misma fuerza en los três ejes de medición. Por tanto, cuando la punta del sensor está en contacto con la superficie de la pieza, se flexiona en un espacio vector que es perfectamente ortogonal a la superficie [...] Un cabezal de medición en 3D puede coger de forma simultânea y precisa três coordenadas X, Y y Z...”. “Apuntes de Metrologia- Sensores de digitalización continua”, *A MEDIDA*, número 4, Hexagon metrology, 2007.

⁷³ “ A sigla STL deriva da palavra ‘stereolithography’ por a estereolitografia ter sido o primeiro processo de prototipagem rápida a ser comercializado”. (ALVES et al., 2001:43).

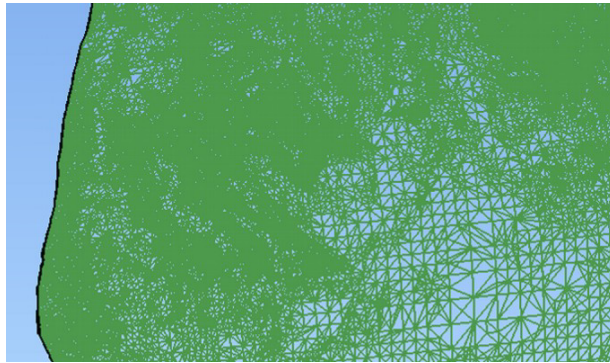


Fig.22 - Malha de triângulos, fragmento da face da figura (ficheiro STL).

III.2. *Software* de modelação de sólidos e superfícies

O programa de desenho 3D, *Power Shape* 8.080, da *Delcam*, foi utilizado para realizar virtualmente parte das três propostas do trabalho experimental. Permitiu definir a forma, dimensão, espessura do cilindro, criar diferentes frestas no seu corpo, desenhar e inserir a palavra *elmo* e ainda fazer a *assemblage* dos relevos na parede interior, com recurso à ferramenta *Wrap* (Figs.23, 24 e 25).

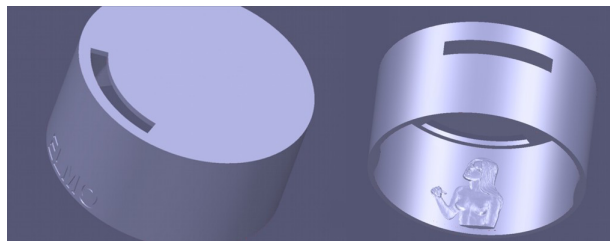


Fig.23 – Imagem do power shape, cilindro um.

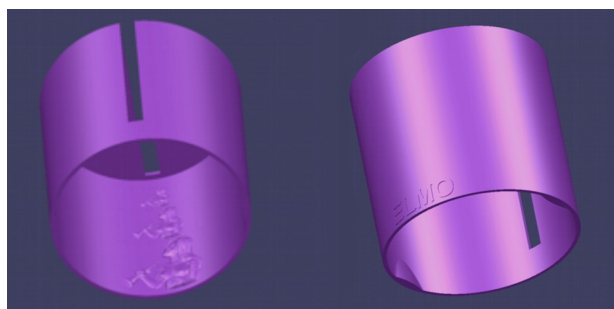


Fig.24 – Imagem do power shape, cilindro dois.

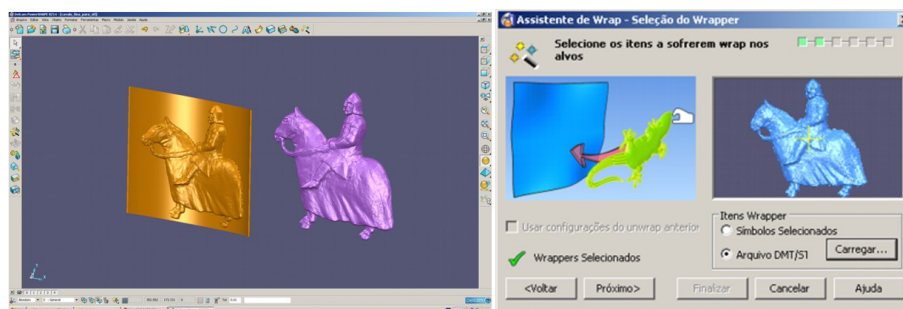


Fig.25 – Imagem do power shape, ferramenta wrap.

III.3. A prototipagem rápida

A prototipagem rápida (*Rapid Prototyping*-RP) deu os seus primeiros passos em finais dos anos oitenta com o processo conhecido por estereolitografia (*Stereolithography*- SL ou *Stereo Lithography Apparatus*- SLA). A empresa americana *3D Systems Inc.* foi a primeira a comercializar estes equipamentos. Na estereolitografia (SL) e em todos os outros processos de prototipagem rápida, *Fused Deposition Modeler* (FDM), *Laminated Object Manufacturing* (LOM), *Selective Laser Sintering* (SLS) e *3D Printers* (TDP), o princípio de funcionamento consiste na fabricação de um objecto (protótipo)⁷⁴ por adição sucessiva de camadas. No caso da estereolitografia (SL) o modelo físico obtido resulta da solidificação de resina líquida epoxídica que polimeriza com a presença de feixe laser UV de baixa potência. A reacção fotopolimérica é extensível a toda a secção transversal do modelo (Fig.26).

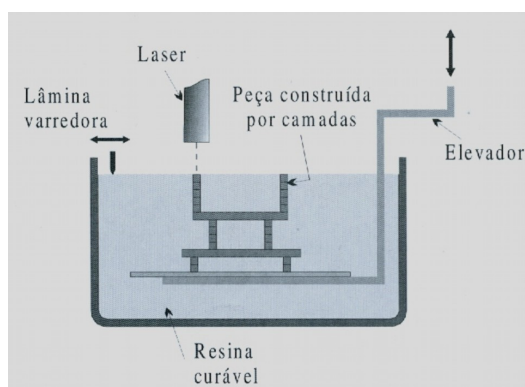


Fig.26 - Esquema de funcionamento de uma máquina de estereolitografia.

^{74cc} Uma das principais aplicações da prototipagem rápida é na verificação de novos projectos, quando estes se encontram numa fase embrionária ou mesmo avançada de concepção, e antes do elevado investimento de fabricar uma ferramenta para a sua produção. Testar um protótipo funcional nessa altura dá a oportunidade de detectar erros de projecto e corrigi-los, quando os custos de alterações são ainda baixos. Estes erros são, por vezes, difíceis de detectar no modelo CAD3D.” (ALVES et al., 2001:37).

Sucessivas camadas são polimerizadas, umas sobre as outras, até completar o objecto. Este, no final, é retirado do meio líquido de resina e é sujeito a luz ultravioleta para consolidar a polimerização da resina, que apresenta características de plástico translúcido, com boa definição de pormenores e bom rigor dimensional, factos que inicialmente não eram visíveis nos primeiros protótipos, justificados, principalmente, pelos materiais usados.

O desenvolvimento do trabalho de investigação, para construção dos protótipos, apoiou-se na tecnologia de Sinterização Selectiva por Laser (SLS).⁷⁵ A digitalização 3D dos relevos e a sua integração nos sólidos de revolução virtuais criados através do programa CAD 3D, *Power Shape*, completou o ficheiro que é exportado em formato STL para a máquina de prototipagem. “O ficheiro STL ao ser introduzido no equipamento de prototipagem rápida é convertido num ficheiro SLI (do inglês ‘slice’-fatia), através do software da máquina, que divide o modelo nas várias camadas de construção” (Fig.27-ALVES et al, 2001:43).

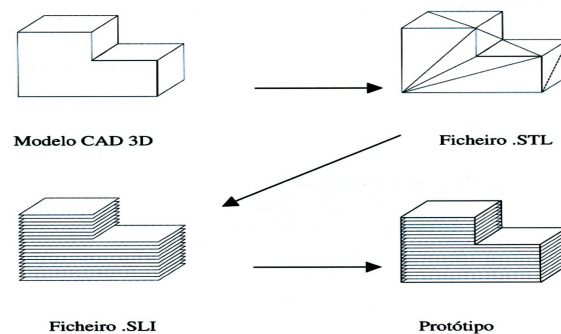


Fig.27 - Esquema de evolução do modelo CAD 3D até ao protótipo.

Em todos os sistemas de prototipagem rápida a base de trabalho é alicerçada numa representação CAD 3D. Relativamente à tecnologia utilizada, sinterização selectiva por laser (SLS),⁷⁶ o princípio de funcionamento é muito idêntico ao sistema SLA: “In laser sintering machines, thin layers of photosensitive metal or polymer powder replace the photosensitive liquid of stereolithography. A layer is spread by a

⁷⁵ Utilizou-se o equipamento de digitalização 3D e prototipagem do centro tecnológico de fabricação computorizada, CINFU (Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição, Porto, 2009), para o desenvolvimento do trabalho de investigação.

⁷⁶ Esta tecnologia foi patenteada em 1989 e teve o seu arranque na Universidade do Texas em Austin.

roller, the laser scans it to bond the powder in the required locations, and the powder bed then lowers for application of next layer...”(Fig.29).⁷⁷

O pó de poliamida ‘Duraform’, da companhia norte americana 3D Systems, foi o material utilizado na sinterização dos modelos tridimensionais. Na câmara de sinterização, de ambiente controlado termicamente, da máquina de prototipagem (Fig.28) e em duas extremidades, existem reservatórios de pó que, num movimento ascendente, vão alimentando um reservatório central, através de um rolo distribuidor, onde incide o feixe laser (CO₂), que funde os grãos de pó de cada secção transversal da peça, camada a camada. Este contentor central que contém o pó, local onde se encontra o modelo em construção, tem um movimento descendente à medida que cada camada é sinterizada. Não se tem uma visualização da evolução da peça porque o pó de poliamida envolvente impede essa leitura. Este mesmo pó é uma ‘almofada’ para o modelo em crescimento e evita o arrefecimento rápido do sinterizado, que prejudicaria a estabilidade dimensional do mesmo. Depois de concluída, a peça é retirada do reservatório central onde se encontra imersa no pó, e é limpa (Figs.32, 33 e 34). O protótipo final tem boa qualidade em termos de resistência mecânica e térmica, um dos melhores dentro dos materiais termoplásticos, sem necessidade de uma polimerização final. O modelo por SLS, de entre os vários sistemas, é o que se obtém com maior rapidez. Permite, para além da sinterização da poliamida, efectuar outras sinterizações, nomeadamente pós metálicos, poliestireno e areia. A superfície apresenta alguma rugosidade que pode ser facilmente corrigida com um impermeabilizante e lixagem. O custo do equipamento e das matérias-primas são os pontos mais desfavoráveis.



Fig.28 - Máquina de sinterização selectiva por laser da DTM.

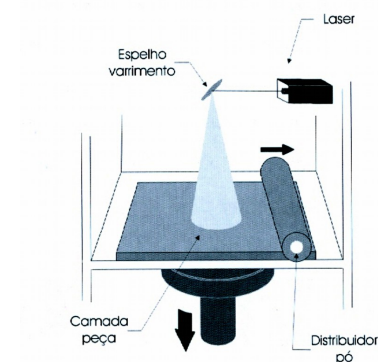


Fig.29 - Esquema do sistema SLS.

⁷⁷ William Mitchell e Malcolm Mccullough, *Digital Design Media*, (2. ed.), Nova Iorque, Wiley, 1995, p.429.

Após a construção tridimensional do 1º cilindro (Fig.36), que demorou 10 horas, com a tecnologia SLS, verificou-se, na superfície do modelo de poliamida e principalmente no relevo da figura, uma textura algo forte (Fig.30), definidora do processo de sinterização por camada a camada. ‘Irregularidades’ que os especialistas⁷⁸ designam por ‘efeito de escada’ (Fig.31) e perfeitamente normal nestes sistemas com processos aditivos de construção por camada de modelos físicos. O resultado obtido nesta primeira sinterização foi assumido, havendo unicamente a preocupação de anular esta textura em redor do relevo e corrigir a superfície da face da figura.



Fig.30 – Efeito de escada no relevo, 1º cilindro.

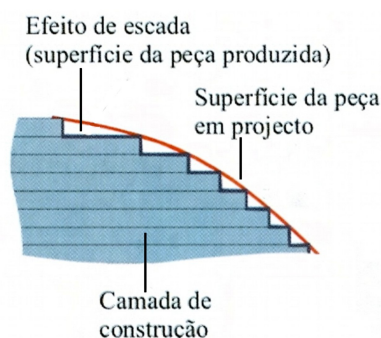


Fig.31 – Efeito de escada.

Nos restantes cilindros (Fig.37), a opção foi no sentido de construir tridimensionalmente os relevos separados do corpo cilíndrico (fig.35), para orientar melhor a superfície, com o intuito de diminuir o efeito de escada, mas deixar na parede interior uma cavidade para os encaixar. Assim, o controlo é substancialmente maior, uma vez que permite fazer correcções também no exterior, o que seria bem mais difícil e quase impossível no lugar.



Figs.32 e 33 – Cilindro sinterizado e envolvido pelo pó de poliamida; Operação de limpeza.

⁷⁸ Alves et al., *op. cit.*, pp.42-43.



Figs.34 e 35 – Remoção do pó não sinterizado; Relevo sinterizado e destacado do sólido.



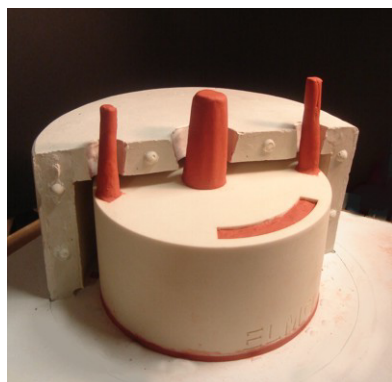
**Fig.36 – Cilindro 1 em RP, 10cm X 20cm Ø.
(Sinterizado em 10 horas)**



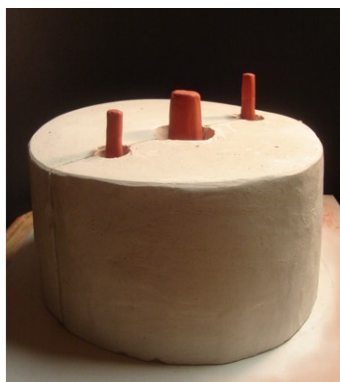
**Fig.37 – Cilindros 2 e 3 em RP, 22cm X 20cm Ø e 20cm X 20cm Ø.
(Sinterizados em 20h 39min. e 15h 51min.)**

III.4. A fundição e a peça escultórica

Dando continuidade ao trabalho e entendendo que o resultado plástico obtido na poliamida não é, no momento, a meta a atingir, mas sim uma etapa da pesquisa desenvolvida, avançou-se para a fundição dos modelos pelo método do bloco cerâmico, para obter no bronze outra plasticidade mais consentânea com o trabalho em causa. Como os modelos não são em cera, é necessário criar réplicas neste material para proceder ao descrito no capítulo II.1., indo assim pelo método indirecto,⁷⁹ que implica realizar moldes em silicone,⁸⁰ que possibilitem reproduzir os modelos sem saídas⁸¹ de poliamida. O molde de silicone vem, deste modo, com imensa vantagem, tomar o lugar da tradicional forma de taceiros.⁸²



38



39



40



41



42

38- Modelo e meio contramolde exterior.

39- Contramolde exterior fechado.

40- Contramolde já com silicone (molde exterior).

41- Contramolde exterior e interior com espessura de envolvimento.

42- Contramolde exterior e interior sem espessura de envolvimento, que corresponderá ao espaço do silicone (molde interior).

⁷⁹ Ver os dois métodos no capítulo I.3.

⁸⁰ Utilizou-se a borracha de silicone RTV-2, HB Flex 901S, de polimerização por adição que apresenta menor contracção na fase de cura, com elevada precisão dimensional.

⁸¹ Reentrâncias ou prisões do modelo, já referidas no cap. II.3.

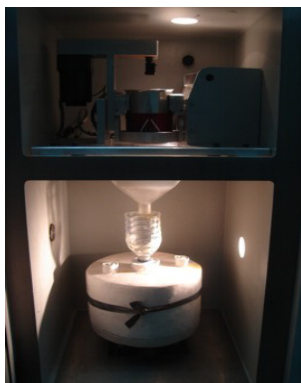
⁸² Ver descrição no capítulo I.3. , pp.13-14.



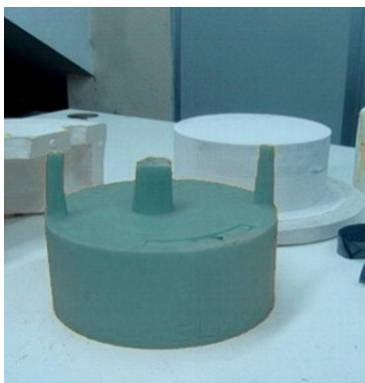
43



44



45



46



47



48



49



50



51



52



53



54

43- Contramolde interior já com silicone.
44- Contramolde e molde exterior de silicone.
45- Vazamento de cera em câmara de vácuo.
46- Modelo de cera.
47 e 48- Gitagem.
49- Modelo de cera no interior de argola metálica.

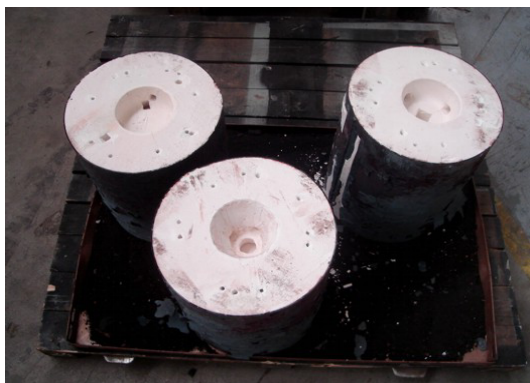
50- Preparação do refractário.
51- Mistura do refractário com água em câmara de vácuo.
52- Vazamento do refractário.
53- Modelo e gitagem envolvidos pelo refractário.
54- Início da cozedura dos blocos cerâmicos.



55



56



57



58



59



60



61



62

55- Gaveta do forno de recolha de cera.
 56- Fim do ciclo de cozedura. Blocos a 300°C.
 57- Cavidades da moldação, anteriormente ocupadas pela cera.
 58- Fusão do bronze (85%Cu,5%Sn,5%Zn e 5%Pb).
 59- Retirada do cadinho do interior do forno. Metal a 1200°C.
 60- Remoção de escória.

61- Vazamento do bronze.
 62- Arrefecimento dos blocos cerâmicos.



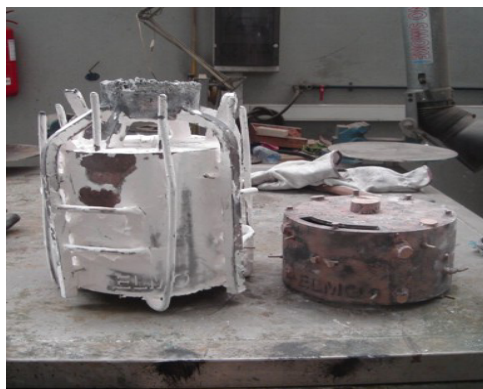
63



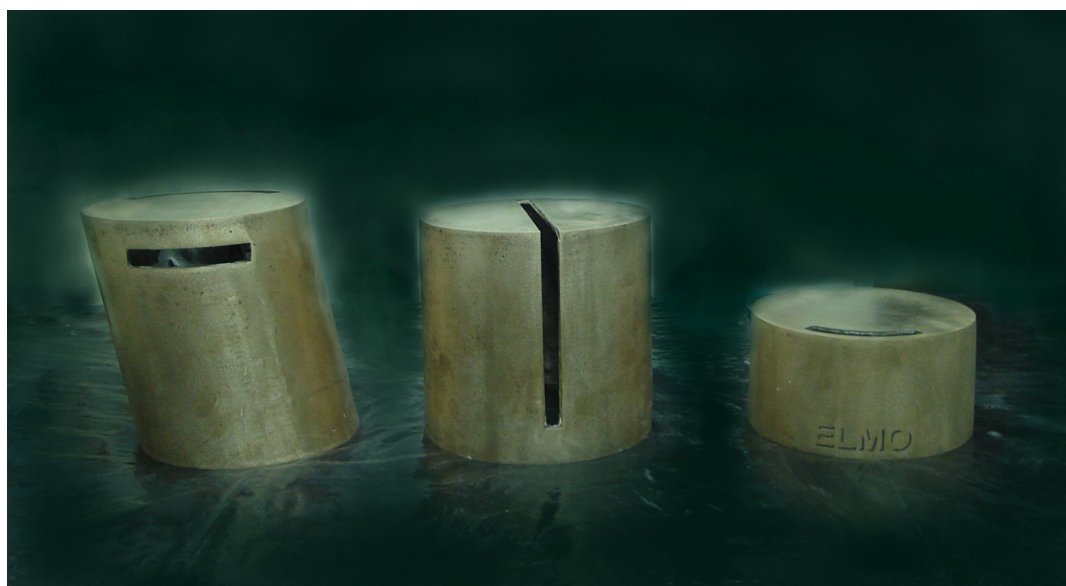
64



65



66



67

63- Abate do bloco.

64- Peça em bronze com a gitagem e algum refractário.

65- Corte da gitagem.

66- Peças em bronze com e sem gitagem.

67- Peças em bronze semi-acabadas.

Ao fazer-se uma escultura imagina-se uma certa qualidade no bronze. Ninguém trabalha directamente em bronze; não se pode pegar numa peça sólida de bronze e cortá-la na forma que se deseja, por isso todos os escultores que querem ter as suas obras em bronze trabalham com a ideia do aspecto que ela

terá, enquanto a executam noutro material. [...] é incrivelmente variado, e continuará a ser um material favorito para os escultores.⁸³

IV. AS TECNOLOGIAS DIGITAIS E O APOIO À CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO OBJECTO ARTÍSTICO

IV.1. O objecto técnico

Neste estudo, a leitura que se pretende do objecto, vai ao encontro de duas situações distintas: o objecto tangível, entendido como coisa, matéria, que podemos tocar, manipular e o objecto enquadrado num fim em vista, num propósito, num “termo”,⁸⁴ objectivo do trabalho.

Para Lewis Mumford,⁸⁵ “a técnica começou quando o homem usou pela primeira vez os dedos como tenazes ou uma pedra como projectil: tal como a própria arte, ela radica-se na utilização que o homem faz do seu próprio corpo”. Segundo Pierre Francastel,⁸⁶ “a sociedade mais elementar serve-se de técnicas e o seu uso modifica a fisionomia e a significação das realidades naturais”. Francastel refere dois meios: o natural (caracterizado pela utilização de energias provenientes do vento, das águas, da força animal); o técnico (determinado pela produção artificial de energia, racionalização do trabalho e pela mecanização).⁸⁷ O objecto técnico é marcado por uma forma, uma funcionalidade e uma história (Fig.1, capítulo I). Como produto tecnológico existe para responder às necessidades, aos anseios colocados pelo Homem e a sua evolução é marcada por mudanças conceptuais e operativas. Situação extrema é a da abordagem de Marcel Duchamp no *ready-made*, em que o objecto comum, técnico, descontextualizado, é promovido à categoria de objecto de arte.⁸⁸

Na pesquisa encetada, a razão principal do recurso às tecnologias digitais foi o seu possível contributo para a concepção do objecto artístico. O processamento que normalmente é usado numa peça técnica que tem determinadas finalidades, respeitando

⁸³ Henry Moore, cit. por Franco Russoli e David Mitchinson, *HENRY MOORE- ESCULTURA, Com comentários do artista*, F. Calouste Gulbenkian, 1981, p.166.

⁸⁴ No âmbito da Filosofia: “[...] há um sentido comum de ‘objecto’ em qualquer caso, que é o ‘termo’. Assim, em metafísica, o objecto é um termo, ou fim, ou causa final; em teoria do conhecimento, o objecto é o termo do acto do conhecimento e especialmente a forma, quer como espécie sensível, quer como espécie inteligível; em ética o objecto é a finalidade, o propósito, o justo”. José Ferrater Mora, *Dicionário de Filosofia*, Lisboa, Publicações D. Quixote, 1982, p. 285 e seg. .

⁸⁵ Lewis Mumford, *Arte e Técnica*, Lisboa, Edições 70, 2001, p.19.

⁸⁶ Pierre Francastel, *Arte e Técnica, Nos séculos XIX e XX*, Lisboa, Edição livros do Brasil, s.d., p.133.

⁸⁷ *Ibidem*.

⁸⁸ Martine Joly, *A Imagem e os Signos*, Lisboa, Edições 70, 2005, p.111.

em muitos casos o princípio de que “a forma segue a função,” foi, neste caso, ignorado, uma vez que estava em causa um trabalho do domínio da escultura.

Interessou ver até que ponto a capacidade de digitalização por contacto atingia valores perfeitamente aceitáveis na transposição do meio real para o meio digital. Nesta situação concreta, a resposta dos equipamentos de digitalização e processamento foi excelente. A definição de pormenores (textura e volume) ultrapassou as expectativas (Fig. 68).



Fig.68 – Imagem do Power Shape.

IV.2. O objecto plástico

A arte de hoje, como a de sempre, submete-se às condições técnicas e sociais do ambiente em que se desenvolve, só a este preço se mantém eficaz e actual; e é por isso que a mecanização do mundo moderno incidu, não só sobre a componente social e económica, mas também sobre a componente estética da vida humana.⁸⁹

Sobre a mecanização do mundo moderno e a sua incidência na componente estética, o filósofo Walter Benjamin, no seu estudo *A Obra de Arte na Era da sua Reprodutibilidade Técnica* (1939), analisa esta problemática e considera que a obra de arte, de um modo geral, nunca deixou de ser reproduzível, desde os que imitam para aprenderem, os que imitam para divulgarem até aos que imitam porque no lucro vêm o objectivo. Sobre a reprodução técnica de obras de arte menciona as práticas exercidas pelos Gregos na execução por fundição e cunhagem de bronzes e moedas, a importância da xilogravura para as artes gráficas e a própria reprodução técnica da escrita, por impressão. Refere outras técnicas de reprodução que vêm na continuação da xilogravura, como a gravura em cobre e a água-forte e, bem mais tarde, no início do século XIX, a litografia, nem meio século depois, a fotografia e, posteriormente, o

⁸⁹ Gillo Dorfles, *O devir das artes*, s.l., Artes e Letras/Arcádia, 1979, p.141-142.

cinema.⁹⁰ Contudo, lembra que, com a reprodução mais fiel, não se consegue “o aqui e o agora da obra de arte”,⁹¹ a sua existência num determinado espaço e num determinado momento, que constitui “o conceito da sua autenticidade”, e que, para W. Benjamin, não é reprodutível. Com a reprodutibilidade da obra de arte a sua singularidade é posta em causa, traduzida naquilo que designa por “perda da aura”, que define como: “a manifestação única de uma lonjura por mais próxima que esteja”,⁹² perda do “valor de culto”, inicialmente mágico e depois religioso, a favor do “valor de exposição”.

Regressando à descrição do trabalho prático, e depois de as figuras terem sido convertidas em suporte digital, de leitura tridimensional, passou-se à fase de variação da sua escala, reproduzindo digitalmente com outros valores o mesmo modelo (Fig.69). Também foi necessário proceder à alteração do plano de apoio das figuras de modo a permitir a curvatura correcta, com o encaixe certo, em função do cilindro em causa (Figs.70 e 71).

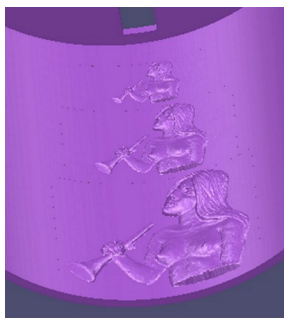


Fig.69 – Variação de escala.

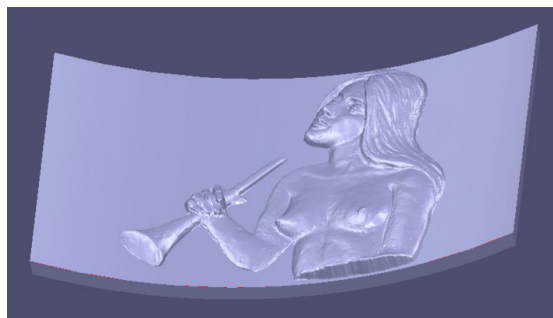


Fig.70 – Curvatura do plano de apoio.

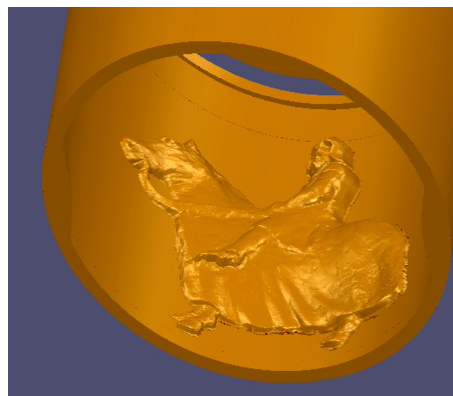


Fig.71 – Cavaleiro inserido no plano interior do cilindro.

⁹⁰ Walter Benjamin, *Sobre Arte, Técnica, Linguagem e Política*, s.l., Relógio D'Água Editores, 1992, p.75-76 .

⁹¹ *Op. cit.*, p.77.

⁹² *Op. cit.*, p.82.

Cada peça foi estudada em função do seu relevo e da narrativa formal e conceptual pretendida, dando continuidade a uma procura, numa preocupação de estabelecer novas relações entre estes elementos, o que no trabalho do autor tem vindo a manifestar-se ao longo de vários anos (Figs.72,73,74,75,76 e 77).



Fig.72 – Estudo para monumento, bronze, 9x9x28cm, 1993. Fig.73 – Cavaleiro, cobre, 21x21x182cm, 1997.



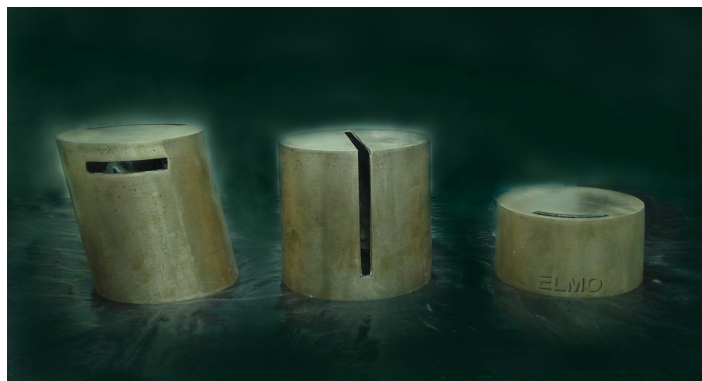
Fig.74 – Cavaleiro, cobre, 21x21x175cm, 1997. Fig.75 – Estudo para monumento, bronze, 8x22x35cm, 2004.



Fig.76 – Fragmento de Escultura de Homenagem ao P. Missionário Sebastião Vieira (XVII).



Fig.77 – Escultura de Homenagem ao P.Sebastião Vieira, bronze, 40x120x400cm, Castro Daire, 2004.



Este conjunto de três peças procura mostrar o quanto é importante a materialidade, o espaço e a luz, na escultura. Formas aparentemente sólidas, depuradas, Cezannianas, dinâmicas, de leitura simples e variada, que no diálogo de espaço exterior e interior, dilatado pelas aberturas, o transformam num espaço pleno. No ELMO todo o espaço é espaço da escultura, mas também espaço de surpresa, espaço de significado.

Nas peças realizadas, a palavra ELMO aparece em negativo na superfície exterior do corpo cilíndrico. Esta, como significante, remete para o conceito, ideia, significado que temos de elmo. Em termos de volume estes cilindros “assemelham-se” ao referente, ao objecto, ao elmo, procuram recriá-lo numa narrativa plástica que oculta quase totalmente o que lá se passa, assim como no elmo, mas, também, neste contexto, são verdadeiros elmos que protegem e ocultam as figuras que lá se encontram. Elmo, segundo crânio, nem sempre suficientemente robusto para resistir aos golpes da vida. O Cilindro é o ELMO “onde nada se vê” e tudo se passa.

IV.3. Discussão comparativa dos resultados

A utilização das tecnologias digitais no apoio à concepção e desenvolvimento do objecto artístico foi, no presente trabalho, fundamental para concretizar uma ideia. O computador não passa de uma ferramenta e para Pierre Francastel⁹³ “a ferramenta não é mais do que a extensão da destreza profissional”.

Houve uma forte intenção de aplicar algumas potencialidades dos meios informáticos. A digitalização por contacto foi a opção escolhida por ser mais precisa nestes recursos, logo mais fiel e ajustada à reprodução das texturas dos relevos, do que a digitalização óptica por laser, mais vocacionada para a escultura em *ronde bosse*. Já no ambiente virtual, os três elementos puderam ser manipulados com relativa facilidade,

⁹³ *Op.cit.*, p.133.

possibilitando uma infinidade de combinações, desde intersecções, associações, deformações, diminuição e aumento de escala e espessuras, subtracção, adição e expansão de volumes, de leitura tridimensional digital, plural, imediata. Impossível de alcançar no ambiente real com esta celeridade. Evitou-se cair na mera habilidade das vantagens operativas destes equipamentos, não construindo peças de grande complexidade, possíveis com estas ferramentas, mas apostou-se na valorização de um conceito escultórico sóbrio, substantivo, para o projecto. Exploraram-se de forma ponderada estes recursos em função de uma concepção formal mais depurada, que contradiz, esconde e anula o poder de actuação destes meios em peças que exteriormente são “minimalistas”. Com isto, o observador “mais atento” não vai encontrar, nesta linguagem, a forte presença destas ferramentas, nem contactar com os protótipos de poliamida, que foram a ponte para a execução de modelos de cera, que, por sua vez, também serviram de ponte para o regresso ao trabalho convencional, com raízes ancestrais, em ambiente físico.

Seria quase impossível ou mesmo impossível modelar pelo processo tradicional no espaço interior do cilindro, de difícil acesso. Com certeza que a modelação em espaço livre seria a solução, mas traria sérios problemas na obtenção de uma peça que se pretendia íntegra. Obrigaria a ligações físicas perceptíveis, em determinadas situações, e a própria alteração de escala das figuras pelos processos convencionais não estaria facilitada, assim como a modificação do seu plano de apoio, com prejuízo para toda a concepção da peça. Há, talvez, a consciência de que, com estas tecnologias digitais, o protagonismo dos equipamentos foi grande, capaz de pôr em causa a plasticidade e o contacto do escultor com os materiais. Mas, antes de mais, interessa referir que se trata de um trabalho experimental, que procurou salvaguardar essa situação, começando o projecto com os já referidos relevos, seguindo-se a aplicação das tecnologias digitais e o regresso à materialidade.⁹⁴ Prosseguiu-se com a execução de modelos de cera, material extremamente plástico, que foram trabalhados e convertidos em metal pelo processo de fundição por modelo de cera perdido, culminando com o cinzelamento e pátina das peças.

⁹⁴ “A Técnica não cria os valores duma sociedade, serve-os e materializa-os” Pierre Francastel, *op.cit.*, p.326.

CONCLUSÃO

As tecnologias digitais têm vindo a afirmar-se em várias áreas do conhecimento e o contributo por elas dado demonstra grandes potencialidades das ferramentas que operam com estes princípios. “ O computador não é mais do que um meio de representação, o mais universal que o homem elaborou”.⁹⁵

Não esquecendo todo um percurso, já substancialmente longo, do processo de fundição por modelo de cera perdido e a sua aplicação na efectivação da escultura em metal, desenvolveu-se um trabalho que procurou tirar partido de uma prática ancestral conjugada com uma nova forma de representação de que é exemplo o computador.

Foi possível, deste modo, transpor para o ambiente virtual um conjunto de três modelos escultóricos, que se integraram em formas tridimensionais virtuais (cilindros). Estes adquiriram o seu inicial “corpo” no ambiente não palpável e aí foram compostos em termos de volume, orientação espacial, redução de massa, criação de aberturas de leitura e iluminação... Os três estudos foram “deformados”, modulados e somados ao interior de cada um dos cilindros, passando assim, a fazer parte de um todo, com uma variante espacial interna na peça, que se afirma singular nos jogos de luz, de leitura e de simbolismo.

É uma nova ou outra forma de trabalhar a escultura. O suporte digital, virtual, tem, de facto, um enorme potencial, capaz de traduzir uma ideia e alterá-la com uma invulgar celeridade. Não tira o lugar aos processos tradicionais de realização da escultura, nem colide com eles, mas pode, pelo contrário, potenciá-los, projectá-los e abrir-lhes caminhos. As tecnologias digitais não são um fim, são um meio.

Esta postura pretende ter continuidade num futuro próximo, com estas técnicas, com este conceito estético, numa correlação de representação da figura humana/sólido geométrico, associados a uma pesquisa formal plástica, com outros volumes simples, prismáticos ou ainda de revolução, com escalas superiores, nada incompatíveis com os actuais cilindros, ELMOS.

“Onde não houver verdadeiro impacto, não haverá arte. Quando a forma artística não é capaz de provocar o desconcerto no espírito do espectador e não o obriga a mudar a forma de pensar, não é actual”.⁹⁶

⁹⁵ Claude Cadoz, *op. cit.*, p.15.

⁹⁶ Antoni Tàpies, *A Prática da Arte*, Lisboa, Edições Cotovia, 2002, p.23.

Bibliografia

ALVES, Fernando, BRAGA, Fernando, SIMÃO, Manuel, NETO, Rui e DUARTE, Teresa, *ProtoClick-Prototipagem Rápida*, Porto, ProtoClick, 2001.

ANDRADE, Sérgio Guimarães de, *Escultura Portuguesa*, s.l., Edição do Clube do Coleccionador dos Correios, 1997.

ARNHEIN, Rudolf, *Arte e Percepção Visual*, São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1984.

ARNHEIN, Rudolf, *O Poder do Centrol*, Lisboa, Edições Setenta, 1990.

ARNHEIN, Rudolf, *Para uma Psicologia da Arte- Arte e Entropia*, Lisboa, Dinalivro, 1997.

BAUDRY, Marie-Thérèse et al., *La Sculpture, Méthode et Vocabulaire*, 3e edition, Paris, Imprimerie Nationale, 1990.

BENJAMIN, Walter, *Sobre Arte, Técnica, Linguagem e Política*, s.l. Relógio D'Água Editores, 1992.

BESANT, C.B., *CAD/CAM: Projecto e Fabricação com o Auxílio de Computador*, Rio de Janeiro, editora Campus, 1985.

BIRKS, Tony, *L'art de la fonte de bronze*, Eyrolles, Paris, 2006.

BONNIEC, H. Le, SANTERRE, H. Gallet De ., *Plínio L'Ancien, Histoire Naturelle, Livre XXXIV*, Paris, Société D'Édition "Les Belles Lettres", 1e edition 1953 – 1983.

BRUNEAU, Philippe et al., *SCULPTURE, From Antiquity to the Middle Ages*, Köln, Taschen, 2006.

CADOZ, Claude, *A Realidade Virtual*, Lisboa, Instituto Piaget, 1994.

CALÇADA, Ana, MENDES Fernando, BARATA, Martins, *Design em Aberto – Uma antologia*, Lisboa, Centro Português de Design, 1993.

CARDOSO, Armando, *Manual do Fundidor*, 2 vols., 2ª edição, Amadora, Livraria Bertrand, 1976.

CASTRO, Joaquim Machado de, *DESCRIÇÃO ANALYTICA da execução da Real Estatua Equestre do Senhor Rei Fidelíssimo D. José I*, Lisboa, Academia Nacional de Belas Artes, edição fac-similada, comemorativa do segundo centenário da inauguração da Estátua Equestre de D. José I, 1975.

CELLINI, Benvenuto, *Tratados de orfebreria, escultura, dibujo y arquitectura*, Madrid, Akal, 1989.

- CELLINI, Benvenuto, *Vida*, Madrid, Ediciones Cátedra, 2007.
- CEYSSON, Bernard et. al., *SCULPTURE, From the Renaissance to the Present Day*, Köln, Taschen, 2006.
- CLEGG, A.J., *Precision Casting Processes*, Pergamon Press, 1991.
- CLÉRIN, Philippe, *LA SCULPTURE, toutes les techniques*, 3.^aed. Turim, Dessain & Tolra, 1993.
- COSTE, H., *Cours Élémentaire de Fonderie*, Tome I, Paris, Syndicat Général des Fondeurs de France, 1976.
- COSTE, H., *Cours Élémentaire de Fonderie*, Tome VI, Paris, Syndicat Général des Fondeurs de France, 1969.
- DORFLES, Gillo, *O Devir das Artes*, s.l., Artes e Letras/Arcádia, 1979.
- DUPONCHELLE, J., *Manuel de Fonderie – Cuivre, bronze, aluminium, alliages diverses*, editions Emotion Primitive, Paris, 1919-2007.
- FARIA, Miguel Figueira de, *Machado de Castro – (1731-1822), Estudos*, Lisboa, Livros Horizonte, 2008.
- FRANCASTEL, Pierre, *Arte e Técnica, Nos séculos XIX e XX*, Lisboa, Edição livros do Brasil,s.d..
- FUSCO, Renato de, *História da Arte Contemporânea*, Lisboa, Editorial Presença, 1988.
- GAURICO, Pomponio, *Sobre La Escultura*, Madrid, Akal, 1989.
- HUGON, Carole Talon, *A Estética História e Teorias*, Lisboa, Edições Texto & Grafia, 2009.
- JOLY, Martine, *A Imagem e os Signos*, Lisboa, Edições 70, 2005.
- LÉVY, Pierre, *Cibercultura*, Lisboa, Instituto Piaget, 2000.
- LIMA, Henrique de Campos Ferreira de, *JOAQUIM MACHADO DE CASTRO, Escultor Conimbricense*, Subsídios para a História de Arte Portuguesa, 2.^a edição, Coimbra, Instituto de História de Arte, Universidade de Coimbra, 1989.
- MANZINI, Ezio, *A Matéria da Invenção*, Lisboa, Centro Português de Design, 1993.
- MITCHELL, William e MCCULLOUGH, Malcolm, *Digital Design Media*, (2. ed.), Nova Iorque, Wiley, 1995.
- MORA, José Ferrater, *Dicionário de Filosofia*, Lisboa, Publicações D. Quixote, 1982.

- MUMFORD, Lewis, *Arte e Técnica*, Lisboa, Edições 70, 2001.
- PACIOLI, Luca, *La Divina Proporción*, 4ª edición, Madrid, Akal, 2008.
- RAMA, Jean Pierre, *Le Bronze D'art et ses techniques*, Éditions HVial, 1988.
- RUSSOLI, Franco e MITCHINSON, David, *HENRY MOORE- ESCULTURA, Com comentários do artista*, F. Calouste Gulbenkian, 1981.
- SERRÃO, Joel, *Dicionário de História de Portugal*, vol.I, Lisboa, Iniciativas Editoriais, 1971.
- TÀPIES, Antoni, *A Prática da Arte*, Lisboa, Edições Cotovia, 2002.
- TEÓFILO, *As Diversas Artes*, Lisboa, edição preparada por V. Ferreira Jorge e traduzida por M.F. Meneses Cordeiro, Separata do Boletim Cultural da Assembleia Distrital de Lisboa III série – N.º 89- 1º Tomo-1983.
- TOLMAN, Rolf, *A Arte da Renascença Italiana*, Könemann, 2006.
- VASARI, Giorgio, *LAS VIDAS, de Los Mas Excelentes Arquitectos, Pintores y Escultores Italianos Desde Cimabue a Nuestros Tiempos*, Madrid, Cátedra, 4ª edição, 2007.
- VENTURI, Lionello, *História da Crítica de Arte*, Lisboa, Edições 70, 1998.
- YOUNG, R.D., FENNELL, R.A., *Methods for Modern Sculptors*, Sculpt Nouveau, 1980.

Outras Publicações

- ALLIAGES CUIVREUX*, Cours Supérieurs de Fonderie, Paris, Syndicat Général des Fondeurs de France, Réédition 1967.
- “A maior estátua do mundo projectada em CAD”, *CADproject*, 04, Ano 1, 2002.
- “El arte de medir”, la entrevista, *A MEDIDA*, número 4, Hexagon metrology, 2007.
- “ Em Casa com Arte”, *News Delcam*, 1ª edição, 2000, p.12.
- JUNQUEIRA, José, “ Fundição por Cera Perdida/Moldação em Carapaça Cerâmica,” *FUNDIÇÃO*, nº242, Associação Portuguesa de Fundição, 3º trimestre, 2006.
- “Manual de Power Shape, versão 8 “, Birmingham, Delcam, 2009.
- WILLIAMS, Ron, “ Waxes for Investment Casting”, *in Investment Casting Waxes*, American Foundrymen's Society- Cast Metals Institute, Cast Metals Technology series, USA, 1988.

Websites

ALVES, Fernando e Neto, Rui, “*A Prototipagem Rápida na Indústria Nacional*”, 2000, disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~falves/Prototipagem.pdf>, acedido em Maio 2009.

HART, George W., <http://www.georgehart.com/rp/rp.html>, acedido em Março de 2009.

http://en.wikipedia.org/wiki/Investment_casting, acedido em Janeiro de 2009.

<http://www.3dsystems.com>, acedido em Janeiro de 2009.

<http://www.3trpd.co.uk/architecture/case-studies-sean-hanna.htm>, acedido em Abril de 2009.

<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=2104>, acedido em Janeiro de 2009.

http://www.cimject.ufsc.br/servicos/Cases/02_57USP18JULHO2003.htm, acedido em Março de 2009.

<http://www.hitchiner.com/HIMCO/History.html>, acedido em Março de 2009.

<http://www.investmentcasting.microfond.it/INVESTMENTCASTING.pdf>, acedido em Janeiro de 2009.

<http://www.orthosupplier.com/bonezone/online/2005/spring/09-11-editorial-mckenna.pdf>, acedido em Janeiro de 2009.

http://www.protocastjlc.com/investment_castings.htm, acedido em Janeiro de 2009.

<http://www.rca.ac.uk/Default.aspx?ContentID=502711&CategoryID=36283>, acedido em Março de 2009.

<http://www.solidconcepts.com/slsprototypes.html>, acedido em Março de 2009.

<http://www.surfacefinishing.com/ecommccenters/dtm.html>, acedido em Março de 2009.

http://www.wtec.org/loyola/rp/10_01.htm, acedido em Janeiro de 2009.

RNRP – Rede Nacional de Prototipagem Rápida, disponível em:
<http://www2.uninova.pt//rnpr>, acedido em Junho 2009.

Apêndice

Algumas imagens referentes ao processo de fundição pelo método da carapaça cerâmica,* realizada na Zollern, a partir dos modelos de cera do autor.



1-Modelo de cera.

2- Modelo de cera com gitagem (Zollern).

3- Carapaça cerâmica (Zollern).

4 e 5- Peças fundidas, em aço inoxidável, ainda com a gitagem (Zollern).

6, 7 e 8- Peças (cilindros/elmos), em aço inoxidável (fotografias do autor).

* Ver capítulo II.2.

Índice de Figuras

Figura 1- Moldes em pedra macia e machado em bronze, Museu de Saint-Germain-en-Laye (extraída de: COSTE, 1976 :14).	9
Figura 2- Benvenuto Cellini, Perseu, 1553, bronze, altura 320cm, Florença, Piazza della Signoria (fotografia cedida por Ricardo Santos).	16
Figura 3- Machado de Castro, Estátua Equestre de D. José I, 1775, bronze e pedra de lioz, Lisboa, Praça do Comércio (extraída de ANDRADE, 1997: 226).	18
Figura 4- Estátua Equestre de Luís XIV com o sistema de gitagem, 1699 (extraída de: COSTE, 1976: 26).	21
Figura 5- Estátua Equestre de Luís XV com estrutura interna de ferro, 1763 (extraída de BAUDRY, 1990:259).	21
Figura 6 - Esquema do bloco cerâmico (imagem do autor).	22
Figura 7 - Zollern, processo industrial. M- modelos e cacho G- gitagem C-carapaça cerâmica (fotografia do autor).	23
Figura 8 - Esquema da carapaça cerâmica (imagem do autor).	24
Figura 9 - Laurita Salles, peças em resina Vantico renshape SL 5260 em RP (extraída de http://www.cimject.ufsc.br/servicos/Cases/02_57USP18JULHO2003.htm).	28
Figura 10 - George W. Hart, Chiral Two-Layer Geodesic Sphere, em RP (extraída de http://www.georgehart.com/rp/rp.html).	28
Figura 11 - George W. Hart, modelo em RP (extraída de: http://www.georgehart.com/rp/rp.html).	29
Figura 12 - Leonardo da Vinci (extraída de Luca Pacioli, La Divina Proporcion, 4ª edición, Madrid, Akal, 2008, p.167).	29
Figura 13 - George W.Hart, modelo em RP (extraída de http://www.georgehart.com/rp/rp.html).	29
Figura 14 - Tony Cragg, garfo e pá (extraída de News Delcam, 1ª edição, 2000, p.12).	30
Figura 15 - Estátua de Buda (extraída de CADproject, 04, Ano 1, 2002, p.24).	30
Figura 16 - Estudo 1- Figura feminina (fotografia do autor).	33
Figura 17 - Estudo 2- Figura feminina com trompa (fotografia do autor).	33

Figura 18 - Estudo 3- Cavaleiro (fotografia do autor).....	33
Figura 19 - Máquina de digitalização 3D por contacto (fotografia do autor).....	34
Figura 20 - Digitalização de relevo (fotografia do autor).....	34
Figura 21 - Representação da nuvem de pontos (imagem do autor).	34
Figura 22 - Malha de triângulos, fragmento da face da figura (ficheiro STL) (imagem do autor).	35
Figura 23 - Malha de triângulos, fragmento da face da figura (ficheiro STL) (imagem do autor).	35
Figura 24 - Imagem do power shape, cilindro dois (imagem do autor).	35
Figura 25 - Imagem do power shape, ferramenta wrap (imagem do autor).	36
Figura 26 - Esquema de funcionamento de uma máquina de estereolitografia (extraída de ALVES et al., 2001: 53).	36
Figura 27- Esquema de evolução do modelo CAD 3D até ao protótipo (extraída de ALVES et al., 2001:44).	37
Figura 28 - Máquina de sinterização selectiva por laser da DTM (fotografia do autor).	38
Figura 29 - Esquema do sistema SLS (extraída de ALVES et al., 2001:70).....	38
Figura 30 - Efeito de escada no relevo, 1º cilindro (fotografia do autor).....	39
Figura 31 - Efeito de escada (extraída de ALVES et al., 2001:43).	39
Figura 32 - Cilindro sinterizado e envolvido pelo pó de poliamida (fotografia do autor).	39
Figura 33 - Operação de limpeza (fotografia do autor).	39
Figura 34 - Remoção do pó não sinterizado (fotografia do autor).	40
Figura 35 - Relevo sinterizado e destacado do sólido (fotografia do autor).....	40
Figura 36 - Cilindro 1 em RP, 10cm X 20cm Ø. (fotografia do autor).	40
Figura 37 - Cilindros 2 e 3 em RP, 22cm X 20cm Ø e 20cm X 20cm Ø. (fotografia do autor).	40
Figura 38 - Modelo e meio contramolde exterior (fotografia do autor).	41
Figura 39 - Contramolde exterior fechado (fotografia do autor).....	41

Figura 40 - Contramolde já com silicone (molde exterior) (fotografia do autor).....	41
Figura 41 - Contramolde exterior e interior com espessura de envolvimento (fotografia do autor).	41
Figura 42 - Contramolde exterior e interior sem espessura de envolvimento, que corresponderá ao espaço do silicone (molde interior) (fotografia do autor).	41
Figura 43 - Contramolde interior já com silicone (fotografia do autor).....	42
Figura 44 - Contramolde e molde exterior de silicone (fotografia do autor).	42
Figura 45 - Vazamento de cera em câmara de vácuo (fotografia do autor).	42
Figura 46 - Modelo de cera (fotografia do autor).....	42
Figura 47 - Gitagem (fotografia do autor).....	42
Figura 48 - Gitagem (fotografia do autor).....	42
Figura 49 - Modelo de cera no interior de argola metálica (fotografia do autor).....	42
Figura 50 - Preparação do refractário (fotografia do autor).	42
Figura 51 - Mistura do refractário com água em câmara de vácuo (fotografia do autor).	42
Figura 52 - Vazamento do refractário (fotografia do autor).....	42
Figura 53 - Modelo e gitagem envolvidos pelo refractário (fotografia do autor).....	42
Figura 54 - Início da cozedura dos blocos cerâmicos (fotografia do autor).....	42
Figura 55 - Gaveta do forno de recolha de cera (fotografia do autor).....	43
Figura 56 - Fim do ciclo de cozedura. Blocos a 300°C (fotografia do autor).	43
Figura 57 - Cavidades da moldação, anteriormente ocupadas pela cera (fotografia do autor).	43
Figura 58 - Fusão do bronze (85%Cu,5%Sn,5%Zn e 5%Pb) (fotografia do autor).	43
Figura 59 - Retirada do cadinho do interior do forno. Metal a 1200°C (fotografia do autor).	43
Figura 60 - Remoção de escória (fotografia do autor).....	43
Figura 61 - Vazamento do bronze (fotografia do autor).....	43

Figura 62 - Arrefecimento dos blocos cerâmicos (fotografia do autor).	43
Figura 63 - Abate do bloco (fotografia do autor).	44
Figura 64 - Peça em bronze com gitagem e algum refractário (fotografia do autor).	44
Figura 65 - Corte da gitagem (fotografia do autor).	44
Figura 66 - Peças em bronze com e sem gitagem (fotografia do autor).	44
Figura 67 - Peças em bronze semi-acabadas (fotografia do autor).	44
Figura 68 - Imagem do Power Shape (imagem do autor).	46
Figura 69 - Variação de escala (imagem do autor).	47
Figura 70 - Curvatura do plano de apoio (imagem do autor).	47
Figura 71 - Cavaleiro inserido no plano interior do cilindro (imagem do autor).	47
Figura 72 - Estudo para monumento, bronze, 9x9x28cm, 1993 (fotografia do autor)...	48
Figura 73 - Cavaleiro, cobre, 21x21x182cm, 1997 (fotografia do autor).	48
Figura 74 - Cavaleiro, cobre, 21x21x175cm, 1997 (fotografia do autor).	48
Figura 75 - Estudo para monumento, bronze, 8x22x35cm, 2004 (fotografia do autor). 48	
Figura 76 - Fragmento de Escultura de Homenagem ao P. Missionário Sebastião Vieira (XVII) (fotografia do autor).	49
Figura 77 - Escultura de Homenagem ao P. Sebastião Vieira, bronze, 40x120x400cm, Castro Daire, 2004 (fotografia do autor).	49